Handexemplar 1483

A Tschermak

DIE

HELL-DUNKELADAPTATION DES AUGES

UND DIE

FUNKTION DER STÄBCHEN UND ZAPFEN.

VON

A. TSCHERMAK,
HALLE A. S.

SEPARAT-ABDRUCK AUS „ERGEBNISSE DER PHYSIOLOGIE“. ERSTER JAHRGANG.

WIESBADEN.
VERLAG VON J. F. BERGMANN.
1902.

XVIII.

Die Hell-Dunkeladaptation des Auges und die Funktion der Stäbchen und Zapfen.

Von

A. Tschermak, Halle a. S.

Einleitung.

Die fundamentale Bedeutung des variablen Erregbarkeitszustandes der lebendigen Substanz für die ganze Lehre von den Reizwirkungen ist erst durch E. Hering[1]) klar erkannt und formuliert worden.

Das Anpassungsvermögen der Organismen, d. h. die Fähigkeit sogen. zweckmässiger Abänderung, manifestiert sich in erster Linie bezüglich der Alterabilität des Stoffwechsels seitens der Aussenvorgänge, bezüglich der Erregbarkeit für „Reize". Der Organismus vermag sich den jeweiligen Bedingungen anzupassen, indem — nach Hering — sein Stoffwechsel bei Wechsel der Bedingungen zunächst eine Störung, eine Reizung bezw. Erregung erfährt, dann aber wieder ins Gleichgewicht (allonomes) kommt. Dieselbe automatische Regulation oder Adaptation (Aubert, 2, Kap. 1, S. 25—49 und 3, § 24, S. 483—487) führt bei starker Reizung eine Minderung, bei schwacher oder fehlender Reizung eine Steigerung der Erregbarkeit herbei.

Hering, dem übrigens Aubert in verdienstvoller Weise diesbezüglich vorgearbeitet hatte, hat diesen Faktor auch in der speziellen Physiologie des Auges präcisiert und die Bedeutung dieses physiologischen Faktors für die Reizeffekte bezw. Empfindungen von der bezüglichen Bedeutung des physikalischen Reizes selbst prinzipiell geschieden. Als massgebend für den Effekt eines bestimmten Lichtreizes ist demnach neben der sogen. Natur des Reizes (seiner Wellenlänge und Intensität) noch der allgemeine, wie der lokale Erregbarkeits-, Stimmungs- oder Ad-

[1]) Zur Theorie der Vorgänge in der lebendigen Substanz. Vgl. auch A. Tschermak (86).

aptationszustand (abgesehen von der Specificität und Individualität) und die antagonistische Wechselwirkung der Mosaikelemente des Sehorgans, der Simultankontrast, zu bezeichnen. Hatte man beispielsweise früher die subjektiven Erscheinungen, welche bei Abschwächung des Reizlichtes eintreten, einfach auf die Veränderung des physikalischen Faktors bezogen, so begann man seither die Rolle der physiologischen Momente zu würdigen und die beiden Bedingungen nach Möglichkeit gesondert zu studieren. Dass der Zustand von (guter) Helladaptation nicht, wie dies früher üblich, als ein blosser Ermüdungszustand betrachtet werden darf, hat Hering in wiederholter Erörterung dargelegt[1]). Zeigt doch das „gänzlich unermüdete", d. h. absolut dunkeladaptierte Auge ein geringeres Optimum der Leistungsfähigkeit (Unterscheidungsvermögen für Helligkeiten, Farben und Formen, bezw. Sehproben), ja auch eine geringere Einzelleistung für die Mehrzahl der einzelnen Reizstufen bezüglich Sehschärfe und wohl auch Helligkeitsunterscheidung — die tiefsten Stufen nahe der Schwelle ausgenommen.

Das Adaptationsproblem ist neuerdings von einer Reihe von Autoren bearbeitet worden: einige haben zugleich den Versuch gemacht, auf Grund bezüglicher Beobachtungen die Hypothese Max Schultzes über die Funktion der Stäbchen und Zapfen zu erneuern und zu erweitern. Angesichts der neu beigebrachten Daten, sowie der kritischen Auseinandersetzungen, welche im Anschlusse daran zwischen den Anhängern der Helmholtzschen Dreifarben-, bezw. der Dreifaser- oder Dreikomponentenlehre und den Vertretern der Heringschen Theorie der Gegenfarben stattgefunden haben, erscheint mir eine eingehendere Darlegung der Geschichte und des gegenwärtigen Standes des Adaptationsproblems und der Stäbchenzapfenhypothese nicht unangebracht. An der Hand der reichen einschlägigen Litteratur soll ein Resumé über die einzelnen Spezialfragen, nicht bloss ein chronologisches Referat geboten werden. Dabei erachte ich es als zweckmässig, das Thatsachenmaterial und seine theoretischen Fassungsweisen völlig gesondert zu behandeln.

---

1) Über Ermüdung und Erholung des Sehorgans. A. f. O. Bd. 37. III. S. 1. Vgl. Ad. Fick, A. f. O. Bd. 38. II. S. 118 und 252, Bd. 38. III. S. 300.

Erster Teil.

Thatsachenmaterial.

I. Allgemeiner Vergleich der Reizbarkeit des helladaptierten und des dunkeladaptierten Auges.

Litteratur:

1. Abney, W. de W. und Festing, E. R., Colour Photometry. Proceed. of the R. S. XLI. S. 238 und Transact. Vol. 177. S. 423. 1886. — Proceed. XLIV. S. 237 und Transact. Vol. 179. 1888. — Transact. Vol. 183. S. 531. 1892. Vgl. auch W. Abney, Proceed. XLIX. S. 509. 1891 und Nature. Vol. XLVII. S. 538.
2. Aubert, H., Physiologie der Netzhaut. 1865.
3. — — Physiologische Optik 1876 (im Handbuch von Graefe-Saemisch).
4. Bezold, W. v., Über das Gesetz der Farbenmischung und die physiol. Grundfarben. Pogg. Ann. Bd. 150. 1873. S. 71 und 221.
5. Bjerrum, Eine Bemerkung über den Helligkeitssinn. Arch. f. Ophth. Bd. 37. III. S. 261. 1891.
6. Bohn, Photometrische Untersuchungen. Pogg. Ann. Erg. Bd. VI. S. 386. 1874.
6a. Brandes, G. und Dorn, E., Über die Sichtbarkeit der Röntgenstrahlen. Wied. Ann. Bd. 60. S. 478. 1897.
7. Brodhun, E., Über die Empfindlichkeit des grünblinden und des normalen Auges gegen Farbenänderung im Spektrum. Zeitschr. f. Psych. u. Phys. d. S. O. Bd. III. S. 97. 1892.
8. Bull, O., Studien über Lichtsinn und Farbensinn. Arch. f. Ophth. Bd. 27. I. S. 54. 1881.
9. Butz, R., Untersuchungen über die physiologischen Funktionen der Peripherie der Netzhaut. Diss. Dorpat. 1883.
10. Charpentier, A., Sur la vision avec des diverses parties de la rétine. Arch. de phys. 1877. nov. — déc. S. 894.
11. — — C. R. de l'acad. fr. 1878. 20. u. 27. Mai. S. 120 und 190. Vgl. auch C. R. de l'acad. franç. T. 91. S. 995. 1880, ebenso Arch. d'ophth. 1882. S. 487.
12. — — C. R. de l'acad. fr. 1879. Bd. 88. 27. Januar und 10. Februar. S. 189.
13. — — C. R. de l'acad. fr. 1883. März und April. Bd. 97. S. 1373 und 1431. Vgl. auch 1880. T. 91. S. 49.
14. — — C. R. de l'acad. fr. 1884. 8. Dezember.
15. — — Nouvelles recherches analytiques sur les fonctions visuelles. Arch. d'ophth. Bd. 4. S. 291. 1884.
16. — — Recherches sur la perception de clarté. Arch. d'ophth. Bd. 14. 1884. S. 400. Vgl. auch C. R. de l'ac. fr. 1885. Bd. 100. S. 361 u. S. 1248 sowie C. R. de la soc. de biol. II. 1885. S. 336 u. 475.
17. — — Recherches sur la perception différentielle des couleurs. Arch. d'ophth. Bd. 4. S. 488. 1884.
18. — — C. R. de l'acad. fr. 1885. 13. Juli. Bd. 101. S. 976.
19. — — L'intensité des sensations lumineuses. Arch. d'ophth. Bd. 6. S. 27. 1886.
20. — — L'inertie rétinienne et la théorie des perceptions visuelles. Arch. d'ophth. Bd. 6. S. 114. 1886.
21. — — La sensibilité lumineuse et l'adaptation rétinienne. Arch. d'ophth. 1886. Bd. 6. S. 196.

22. Charpentier, A., Faits complémentaires relatifs à l'intensité des sensations lumineuses. Arch. d'ophth. Bd. 6. S. 289. 1886.
23. — — Expériences sur la marche de l'adaptation rétinienne. Arch. d'ophth. Bd. 6. S. 294. (Vgl. auch C. R. de la Soc. de Biol. II. 1885. S. 310).
24. — — L'adaptation rétinienne et le phénomène de Purkinje. Arch. d'ophth. Bd. 16. S. 188. 1896.
25. Chodin, Über die Abhängigkeit der Farbenempfindung von der Lichtstärke. Arch. f. Ophth. Bd. 23. III. S. 177. 1877.
26. Cohn, H., Über Farbenempfindungen bei schwacher künstlicher Beleuchtung. Arch. f. Augenheilk. Bd. 11. 1882. S. 283.
27. Dobrowolsky, Über die Empfindlichkeit des Auges gegen verschiedene Spektralfarben. Arch. f. Ophth. Bd. 18. I. S. 66. 1872. Vgl. auch:
27a. — — Über die Empfindlichkeit des Auges gegen die Lichtintensität verschiedener Spektralfarben. Ebenda. S. 74.
27b. — — Über gleichmässige Ab- und Zunahme der Lichtintensität verschiedener Spektralfarben bei gleichmässiger Ab- und Zunahme der Lichtstärke des Gesamtlichtes. Ebenda. S. 92. —
27c. — — Zur Kenntnis über die Empfindlichkeit des Auges gegen Farbentöne. Ebenda. S. 98.
28. Dobrowolsky, W. und Gaine, A., Über die Lichtempfindlichkeit an der Peripherie der Netzhaut. Pflügers Arch. 1876. S. 432. Bd. 12.
29. Dobrowolsky, W., Über die Empfindlichkeit des Auges gegen die Lichtintensität der Farben im Centrum und an der Peripherie. Pflügers Arch. f. d. ges. Phys. 1876. S. 441. Bd. 12.
30. — — Empfindlichkeit des Auges gegen Spektralfarben bei wechselnder Lichtstärke. Pflügers Arch. Bd. 24. 1881. S. 189.
31. — — Empfindlichkeit des Auges gegen Farbentöne auf der Peripherie. Arch. f. Ophth. Bd. 32. I. 1886. S. 9.
31a. Dorn, E., Über die Sichtbarkeit der Röntgenstrahlen für vollständig Farbenblinde. Wied. Ann. Bd. 66. S. 1171. 1898.
32. Dove, H. W., Über den Einfluss der Helligkeit einer weissen Beleuchtung auf die relative Intensität versch. Farben. Pogg. Ann. Bd. 85. 1852. S. 397.
33. Exner, S., Bemerkungen über intermittierende Netzhautreizung. Pflügers Arch. Bd. 3. 1870. S. 214.
34. Ebbinghaus, H., Die Gesetzmässigkeit des Helligkeitskontrastes. Berliner Sitzber. 1887. S. 994.
35. Fick, A. E., Studien über Licht- und Farbenempfindung. Pflügers Arch. Bd. 43. 1888. S. 441.
36. Filehne, Beeinflussung der Sinne und der Reflexe durch Strychnin. Pflügers Arch. Bd. 83. 1901. S. 369.
37. Goethe, W. v., Zur Farbenlehre 1810.
38. Grailich, Beitrag zur Theorie der gemischten Farben. Wien. Sitzber. 1854. Bd. XII. S. 783 und XIII. S. 201.
39. Haycraft, J. B., Luminosity and Photometry. Journ. of phys. Vol. XXI. S. 126. 1897.
40. Hering, E., Lehre vom Lichtsinn. 1876. 6. Mitteilung. Wien. Sitzber. Auch. sep.
41. — — Über individuelle Verschiedenheiten des Farbensinnes. Lotos. N. F. VI. Auch. sep. (Vgl. Bemerkungen zu Königs Kritik. 1885. Centralbl. f. prakt. A. IX. S. 327).
42. — — Über Holmgrens vermeintlichen Nachweis der Elementarempfindungen des Gesichtssinnes. Pflügers Arch. Bd. 41. S. 1. 1887.
43. — — Über die Theorie des simultanen Kontrastes von Helmholtz. 4. Mitteilung. Pflügers Arch. Bd. 43. S. 1. 1888.
44. — — Untersuchung eines total Farbenblinden. Pflügers Arch. Bd. 49. S. 563. 1891.
45. — — Über das sogen. Purkinjesche Phänomen. Pflügers Arch. Bd. 60. S. 519. 1895.
46. Hess, C., Über den Farbensinn bei indirektem Sehen. Arch. f. Ophth. Bd. 35. IV. S. 1. 1889.

47. Hess, C., Über die Tonänderung der Spektralfarben durch Ermüdung mit homogenem Licht. Arch. f. Ophth. Bd. 36. I. S. 1. 1890.
48. Hess, C. und Hering, E., Untersuchungen an total Farbenblinden. Pflügers Arch. Bd. 71. S. 105. 1898.
49. Hillebrand, F., Über die spezifische Helligkeit der Farben. Sitzber. d. Wien. Akad. Bd. 98. Abtl. 3. S. 70. 1889. (Mit Vorbemerkungen von E. Hering).
50. Himstedt, F. und Nagel, W. A., Über die Einwirkung der Becquerel- und der Röntgenstrahlen auf das Auge. Ber. d. naturf. Ges. z. Freiburg i. B. Bd. 11 (3). 1901. S. 139.
51. Hippel, A. v., Über die Wirkung des Strychnins auf das normale und kranke Auge. Berlin. 1873.
52. König, A. und Dieterici, C., Über die Empfindlichkeit des normalen Auges für Wellenlängen-Unterschiede des Lichtes. Wied. Ann. Bd. XXII S. 579. A. f. O. Bd. 30. II. S. 171. 1884.
53. König, A. und Brodhun, E., Verhandl. der phys. Ges. zu Berlin. 1885—1886. Nr. 17 und 18.
54. — — Exper. Untersuchungen über die psychophys. Fundamentalformel. Berl. Sitzber. 1888. S. 917 und 1889. S. 641.
55. König, A., Über den Helligkeitswert der Spektralfarben bei verschiedener absoluter Intensität. Beitr. z. Psych. u. Phys. d. S. O. Helmholtz-Festschr. 1891. Hamburg. Auch sep.
56. Koster, W., Untersuchungen zur Lehre vom Farbensinn. A. f. Ophth. Bd. 41. IV. 1895. S. 1 und Arch. d'ophth. Bd. 15. 1895. S. 428.
57. Kries, J. v., Über die Funktion der Netzhautstäbchen. Zeitschr. f. Psych. und Phys. d. S. O. Bd. IX. 1896. S. 81.
58. Kries, J. v. und Nagel, W., Über den Einfluss von Lichtstärke und Adaptation auf das Sehen des Dichromaten (Grünblinden). Zeitschr. f. Psych. u. Phys. d. S. O. Bd. XII. 1896. S. 1.
59. Kühne, W., Beobachtungen über Druckblindheit. Unters. a. d. physiol. Inst. zu Heidelberg. II. Bd. S. 46. 1882.
60. Kunkel, A. J., Über die Abhängigkeit der Farbenempfindung von der Zeit. Pflügers Arch. Bd. 9. 1874. S. 197.
61. Kuschbert, Über Hemeralopie. Berl. klin. Wochenschr. 1885.
62. Lamansky, S., Über die Grenzen der Empfindlichkeit der Augen für Spektralfarben. Arch. f. O. Bd. 17. I. S. 123. 1871 und Pogg. Ann. 1870. Bd. XVI. S. 251.
63. Leber, Th., Über das Vorkommen von Anomalien des Farbensinnes bei Krankheiten des Auges. Arch. f. O. Bd. 15. III. 1869. S. 26.
64. Macé de Lepinay und Nicati, Recherches sur la comparaison photométrique des diverses parties du même spectre. C. R. de l'acad. fr. März 1881 und Ann. de Chim. et de Phys. XXIV. S. 289. 1881.
65. Mandelstamm, E., Beitrag zur Physiologie der Farben. A. f. O. Bd. 13. II. S. 399. 1867.
66. Mentz, P., Unters. zur Psychophysik der Farbenempfindungen im Spektrum. I. Teil. Wundts Philos. Stud. XIII. 1898. S. 481.
67. Parinaud, H., De l'héméralopie dans les affections du foie et de la nature de la cécité nocturne. Arch. gén. de méd. Avril. 1881.
68. — — L'héméralopie et les fonctions du pourpre visuel. C. R. de l'acad. fr. Aug. 1881 S. 286 und Gaz. méd. de Paris. Nr. 34. S. 484. 1881. Vgl. auch:
68a. — — Détermination numérique de l'acuité visuelle pour les couleurs et la lumière — chromoptomètre. Ann. d'oculist. T. 85. 1881. p. 113.
69. — — Sur l'intensité lumineuse des couleurs spectrales. C. R. de l'ac. fr. Nov. 1884. (Vgl. auch Aug. 1884 und Bd. 99. 1885. S. 937 sowie Bull. et mém. Soc. fr. d'ophth. III. 1885. p. 329).
70. — — La sensibilité de l'œil aux couleurs spectrales; fonctions des éléments rétiniens et du pourpre visuel. Ann. d'oculist. 1894. Bd. 112. S. 228.
71. — — Les nouvelles idées sur les fonctions de la rétine. Arch. d'ophth. Bd. 16. p. 87. 1896.

Schon Förster (Über Hemeralopie und die Anwendung eines Photometers im Gebiete der Ophthalmologie. Breslau 1857) fand – wohl für eingew. Stadium von D.Ad.:

„Gesichtswinkel und Helligkeit ergänzen sich gegenseitig: je kleiner der eine Faktor ist, umso grösser muss der andere sein, wenn noch eine Wahrnehmung zu Stande kommen soll".

Beim Aufsuchen der Farbenschwellen oder best. Sättigungsgrade farb. Bilder fanden

Ole Bull, Graefe's Arch. 27.
Donders, " 33.
E. A. Fick, Pfl. Arch. 43. 1888.
Guillery, Über die räuml. Beziehgn des Licht- und Farbensinnes. Arch. f. Aughlkd. 31.

Gesichtswinkel und Lichtintens. umgekehrt proportional.

Riccò, Relazione fra il minimo angolo visuale e l'intensità luminosa. Ann. di ottalm. VI. T. 3.

Flächengrösse × Lichtintensität = Constante

bzw. Winkelgrösse × $\sqrt{\text{Lichtintens.}}$ = C

gilt für Bilder von geringerer Ausdehnung als die Fovea

Charpentier, Sur les phénomènes rétiniens. Rapport présenté au Congrès internat. de physique. Paris 1900.
bestätigt den Satz Riccò's, für grössere Netzhautbilder nimmt der Einfluss der Winkelgrösse auf die Schwelle mehr und mehr ab.

Ausgangsstufe gewählten Helladaptationszustande. — Die Höhe der Reizschwelle erwies sich schon in Auberts Versuchen (mit Tageslicht) am dunkeladaptierten Auge im umgekehrten Verhältnisse abhängig von der Flächengrösse bezw. dem Gesichtswinkel. — Vergleichende Bestimmungen der Reizschwellen für das Hellauge und das Dunkelauge unter Verwendung spektraler Lichter hat Charpentier (11) angestellt. (Für farbige Lichter vergl. auch Woinow [89] und Bohn [6]). Er fand für ein rotes Licht eine Steigerung der Empfindlichkeit auf das 4,2fache, für ein grünes 7, für ein blaues 25. Er verfolgte ferner (21) die Steigerung der Empfindlichkeit gegen das Licht einer Carcellampe für verschiedene Adaptationsstufen (zuvor Tagesbeleuchtung und Verwendung von sechs Nummern grauer Gläser, dann Lichtabschluss); er vermutet ein proportionales Wachsen der Reizschwelle bei schwachen Beleuchtungsgraden, ein rapides bei starken. Er fand eine maximale Steigerung auf das 50 bis 250fache, auch bei Benützung einer künstlichen Pupille. — M. Peschel hat schon 1880 (73) mittelst farbiger Glaslichter die Empfindlichkeitssteigerung bestimmt, welche nach lokaler farbloser (auch farbiger) Blendung des Auges (central oder bei 30° Excentricität) bei Lichtabschluss eintritt; es ergab sich eine Zunahme für alle Lichter, die rascheste für grünes.

Den Satz Auberts über die Abhängigkeit der Reizschwelle von der Flächengrösse bestätigte Charpentier (11), ebenso Treitel (82, S. 81) für farbloses gemischtes Licht; der erstere erweiterte ihn auf die für die Wahrnehmung als farblos, wie auch als farbig geltenden Reizschwellen des Lichtes farbiger Gläser (13, 22); letzteres betreffen auch die Beobachtungen von H. Parinaud (68a). Bei Feldverkleinerung erhöht sich die Reizschwelle für rotes Licht relativ weniger als für grünes, für dieses weniger als für blaues. — Von Charpentier (12, 14, 15, 20), ebenso Butz (9) stammt ferner die von Donders bestätigte Angabe, dass nach Auftreten eines eben merklichen Effektes der Lichtreiz erheblich verringert werden darf, ohne dass die Wirkung aufhört; dieser Unterschied der Schwellen für Erscheinen und Verschwinden — der Ausdruck einer „inertie rétinienne“ (20) — wird umso grösser, je kleiner die Wellenlänge, z. B. für grünes Glaslicht 4 : 1, für blaues 8 : 1, und ist nicht abhängig vom Adaptationszustand (14, 15). Charpentiers erstangeführte Resultate wurden von H. Parinaud (70) bestätigt. Derselbe fand für Spektrallicht um 589 mμ (D) eine 6fache, um 517 (b) eine 100fache, um 486 (F) eine 500fache, um 430 (G) eine 15fache Steigerung. Jedoch bestritt er jedwede Zunahme für rotes Spektrallicht (um 687 und 656, B und C) — eine Beschränkung, welcher Charpentier mit neuerlichen Beobachtungen (24) entgegentrat, die für rotes Licht eine relativ geringste, aber doch deutliche Steigerung ergaben. J. v. Kries (57, S. 86) machte ganz dieselben Angaben wie Parinaud, während Tschermak (84, S. 320) sich Charpentier anschloss; auch aus den Versuchen von Hess und Hering (48, S. 117) ist analoges zu folgern. Die Bestimmungen der spektralen Reizschwellen für das

Hellauge und das Dunkelauge bei Haycraft (39) gestatten keinen Vergleich der beiden Reihen.

Eine analoge Steigerung der Reizbarkeit bei Lichtabschluss tritt ein für mechanische Reize (Joh. Müller), wohl auch für elektrische; desgleichen für ultraviolette Strahlen, welche dem Dunkelauge als grauweisslich, etwas ins Bläuliche spielend erscheinen (Helmholtz), für Röntgenstrahlen (Sichtbarkeit entdeckt von G. Brandes und E. Dorn (6a), von E. Dorn (31a) auch für total Farbenblinde) und für Becquerelstrahlen. Himstedt und Nagel (50) vermochten in ihren bezüglichen Versuchen eine Erregung des Hellauges überhaupt nicht zu erreichen.

Bezüglich des Verlaufes der Dunkeladaptation, also der Geschwindigkeit, Form und Grösse, hat bereits Aubert die Angabe gemacht, „dass die Empfindlichkeit für Licht im Anfange des Aufenthaltes im Finstern sehr schnell, allmählich aber immer langsamer zunimmt" (3, § 24). Charpentier (23, S. 298) konstatierte ein früheres oder späteres Erreichen des kleineren oder grösseren Maximum der Empfindlichkeit, je nach dem zum Ausgangspunkt gewählten Adaptationsstadium; so trat nach mässiger Helladaptation eine Steigerung bloss auf das 23 fache, nach guter eine solche auf das 230 fache, nach Aufenthalt unter freiem Himmel auf das 676 fache ein (geprüft mit dem Lichte der Carcellampe).

Nach Filehne (36, S. 378) soll Strychnindarreichung, welche bekanntlich die Grenzen für excentrisches Farbensehen erweitert (A. v. Hippel [51]), auch die Empfindlichkeit des Dunkelauges, und zwar etwas auch im Centrum, noch weiter steigern. Immerhin erreichte Charpentiers Auge schon nach 20′ Lichtabschluss fast das Maximum der Empfindlichkeit. Den Aubertschen Satz über deren Wachstum bei Lichtabschluss fasste er (23) genauer dahin, dass die Wachstumsgeschwindigkeit in jedem Augenblicke sehr angenähert proportional ist der Differenz zum Maximum, welche anfangs beträchtlich ist, dann immer mehr und mehr abnimmt. — Blendung hatte bei Aubert eine starke anfängliche Verlangsamung des Anstieges zur Folge. Treitel (82) bestätigte dies in systematischen Versuchen, in denen späterhin das geblendete Auge eine stärkere relative Steigerung der Empfindlichkeit bei Lichtabschluss aufwies.

Aubert bezeichnet es (2, S. 38) als eine offene Frage, ob die Kurve der Adaptation parallel zur Abscisse wird, und ob dies direkt oder erst nach Oscillationen eintritt. Er beobachtete nämlich mitunter ein anscheinendes (wohl zeitweiliges) Zurückgehen der Adaptation, indem er z. B. nach 176′ Aufenthalt im Dunkeln bei sehr lebhaft gewordenem Eigenlicht eine höhere Reizschwelle konstatierte als eben zuvor, dieselbe wie nach bloss 5′ Lichtabschluss. — Ich selbst habe für mein Auge nicht selten solche vorübergehende Phasen abnehmender Reizbarkeit, während derer das Eigenlicht sehr lebhaft wurde, im Verlaufe der Dunkeladaptation beobachtet.

H. Piper, über die Abhängigkeit des Reizwerthes leuchtender Objekte von ihrer Flächen-, bezw. Winkelgrösse. Zeitschr. Bd. 32. S. 98 – 112. 1903.

H. Piper, über Dunkeladaptation Z. f. Psych. d. S. O. 31, S. 161–214. 1903 gibt eine Wendepunktcurve an

Eine Abhängigkeit der Adaptationsgrösse vom jeweiligen Ernährungszustande hat Parinaud (71, S. 99) für sich selbst angegeben. Als pathologische Parallele hierzu kann die sogen. idiopathische Hemeralopie, die auch epidemisch auftritt (vergl. Schtschepotiew 78), bezeichnet werden. — Andererseits hat Tschermak (84, S. 314) eine Ermüdbarkeit, ja ein Versagen des Adaptationsvorganges bei verhältnismässig raschem Wechsel von Belichtung und Verdunkelung konstatiert. Er vermutet auch einen Einfluss des Lebensalters auf die Adaptationsgrösse, indem dieselbe in der Jugend erheblicher sei als im Alter.

Individuelle Verschiedenheiten der Geschwindigkeit der Adaptation sind schon W. v. Goethe (37, I. 1, § 10) aufgefallen, solche der Adaptationsgrösse bezeichnet Aubert (2, S. 39), ebenso Tschermak (84, S. 315; 85, S. 598) als sehr wahrscheinlich. Systematische Versuche hierüber haben Birch-Hirschfeld und Tschermak (85, S. 589; 86, S. 10) unternommen: nach diesen scheint es, dass bezüglich der Geschwindigkeit und Grösse der Adaptation zwei Typen unter den Farbentüchtigen bestehen, welche mit den von Lord Rayleigh, Donders, Hering, König und Dieterici, J. v. Kries bereits unterschiedenen zwei Typen — „Gelbsichtige" und „Blausichtige" nach Hering (vergl. Kap. V) übereinstimmen. Für die ersteren, welche im Helladaptationszustande die Strahlungen geringerer Wellenlänge schlechter auswerten wie die letzteren, scheinen umgekehrt im Dunkeladaptationszustande dieselben Strahlungen einen grösseren Reizwert zu besitzen, sodass sie bei Prüfung mit solchen oder mit gemischtem farblosen Lichte eine raschere und ausgiebigere Empfindlichkeitssteigerung während des Dunkelaufenthaltes aufweisen. — Den pathologischen Fall der sogen. idiopathischen Hemeralopie haben Parinaud (67, 68), dann Kuschbert (61), Velardi, Treitel (81) als Adaptationsstörung erklärt; die beiden deutschen Autoren nehmen in den leichteren, heilbaren Fällen eine blosse Verlangsamung des Adaptationsprozesses an, da nach Abschluss des Lichtes zeitweilige Prüfungen eine kontinuierliche Abnahme der Störung ergeben. J. v. Kries (104, Kap. V.) fand bei einem Falle von Hemeralopie die Schwelle für rotes Licht nicht unverändert, die für blaues Licht gewaltig erhöht. — Schon Bjerrum (5, S. 236) hatte bemerkt, dass in vielen Fällen von Amblyopie der Lichtsinn (ebenso die Sehschärfe) bei abnehmender Beleuchtung sich dem des normalen nähere. — Bei Albinotischen fand Schirmer (77) die Schwelle, den Verlauf und die Grösse der Dunkeladaptation normal.

Bezüglich der sogen. farbigen, speziell homogenen Lichter wurden, neben dem Vergleiche der Reizschwellen einer und derselben Strahlung für das Hellauge und das Dunkelauge, vielfach vergleichende Bestimmungen der Reizschwellen der verschiedenen Lichtarten für einen und denselben Adaptationszustand angestrebt. Die unmittelbar ge-

fundenen Masswerte gestatten aber keinen solchen Vergleich, wie er mehrfach gezogen wurde und in der Konstruktion von Übersichtskurven zum Ausdruck kommt, da die verschiedenen Strahlungen des Spektrums nicht gleiche objektive Intensität oder Lichtstärke besitzen, ihr relatives Verhalten aber in den verschiedenen jeweils benützten Spektren häufig nicht bekannt war und auch nicht festgestellt wurde. Die Verteilung der objektiven Intensität in einem Spektrum ist natürlich aus der variablen Verteilung der subjektiven Helligkeit absolut nicht zu erschliessen. Eine solche Bestimmung ist nur möglich bei Benützung eines nichtelektiven Reagenten, wie es die Russschichte des Langleyschen Thermobolometers zu sein scheint, keineswegs aber das menschliche Sehorgan es ist oder irgend eine lichtempfindliche chemische Substanz, z. B. das Jodsilber oder das Bromsilber der photographischen Platte. Durch unser Auge vermögen wir wohl farblose oder farbige Lichter auf gleichen subjektiven Effekt, auf gleiche scheinbare Helligkeit zu bringen, nicht aber Gleichheit von objektiver Intensität oder Lichtstärke zweier verschiedenartiger Lichter und Lichtgemische — gleichgültig ob sie uns farbig oder farblos erscheinen — zu beurteilen. Schon die Abhängigkeit solcher „optischer Gleichungen" vom variablen Zustande des Auges und von der Netzhautregion (vergl. Kap. IV) gemahnt uns an diese wichtige Thatsache.

Aus dem dargelegten Grunde sind die meisten Litteraturdaten über die Empfindlichkeit des Auges gegen die verschiedenen Spektrallichter (oft noch ohne Zustandsangabe!) nicht direkt verwertbar. (Noch weniger verwertbar ist die allgemein gehaltene Angabe von Purkinje, Dove u. a. — das Auge sei am empfindlichsten gegen blaues Licht). — So der Befund Rählmanns (75), dass das offenbar in einem gewissen Dunkeladaptationsstadium befindliche Auge scheinbar am empfindlichsten sei gegen Licht von ca. 527 (E), etwas weniger gegen gelbes und blaues, noch weniger für das äusserste Violett, am wenigsten gegen das äusserste Rot. Ein gleiches gilt von der Angabe Charpentiers (18; 20, S. 126; 24), dass das scheinbare Empfindlichkeitsmaximum für das dunkeladaptierte Auge im Dispersionsspektrum der Sonne (umgerechnet auf das Diffraktionspektrum) um 500 liege[1]); ebenso von der durch Abney und Festing (1) ermittelten „Reizschwellenkurve" des Bogenlichtspektrums für das thatsächlich dunkeladaptierte Auge — scheinbares Schwellenminimum bei 532; ferner von den Schwellenangaben Parinauds (70) am Auerlichtspektrum für das Hellauge (scheinbares Maximum um 589, D) und für das Dunkelauge (um 527, E); endlich von den auch unter sich nicht vergleichbaren Bestimmungsreihen am Gaslichtspektrum von Haycraft (39, S. 568) mit helladaptiertem Auge (Lichtpunkt in weisser Umgebung, Änderung der Beobachtungsdistanz; scheinbares Maximum bei 590, scheinbar grössere Empfindlich-

[1]) Hering hat 1891 (44) das scheinbare Schwellenminimum im Gaslichtspektrum in der Gegend von E und b angegeben.

Bestimmung der Energieverteilung im Spektrum
von F. Paschen (Energie = Quadrat der Amplitude)
O. Lummer u. E. Pringsheim
H. Rubens und F. Kurlbaum
theoret. Ableitung einer damit übereinstimmenden Energieverteilung als der wahrscheinlichsten
von M. Planck, Über die Natur des weissen Lichtes Ann. der Physik (4.) 7, S. 390. 1902.

Gouy: Zusetzg der Wellen des weissen Lichtes aus absolut regelm., einfach periodischen Sinus-Schwingungen von const. Schwingungszahl, Amplitude und Phase

Corbino und Carvallo: Zusetzg nicht aus regelm. Sinusschwingungen, da die durch das Beugungsgitter getrennten Componenten nicht miteinander interferenzfähig sind, keine Schwebungen aufweisen.

contra: (M. Planck) eine vollst. Trennung der Partialschwingungen ist aber nicht möglich, „homog." Licht bedeutet factisch noch immer eine Gruppe von P.Schw., welche wegen ihrer grossen Zahl und wegen der Unabhängigkeit der Phasen in den einzelnen P.Schw voneinander absolut unregelmässig angeordnete Schwebungen und daher eine constante Gesamtlichtintensität ergeben.

Problem der Natur des Lichtes der Spektrallinien äussert schwierig.

keit für den langwelligen als für den kurzwelligen Spektrumteil) und mit dunkeladaptiertem Auge (scheinbares Maximum bei 525, scheinbar geringere Empfindlichkeit für den langwelligen als für den kurzwelligen Spektrumteil). Hingegen hat König ([53, 54, 55] mit Brodhun und Ritter) die für das Spektrum des Triplexbrenners mit thatsächlich dunkeladaptiertem Auge gefundenen Reizschwellen nach S. P. Langleys Daten auf gleichmässige Energieverteilung umgerechnet. So ergab sich statt des scheinbaren Empfindlichkeitsmaximums für 535 ein solches für 505.

Schon ehe systematische Untersuchungen über die Reizschwellen farbiger Lichter für das Dunkelauge angestellt wurden, war konstatiert worden, dass sogen. farbige Lichter bei allmählich wachsender Stärke im dunkeladaptierten Sehorgane zunächst eine farblose Helligkeitsempfindung und erst von einer höheren Intensitätsstufe ab einen farbigen Eindruck hervorbringen. Diese Erscheinung des farblosen Intervalls ist von Purkinje (74, S. 109), Grailich (38), Dove (32), Aubert (2, S. 125, 3, S. 532), Landolt (bei Aubert 3, S. 535), Helmholtz, H. Cohn (26, S. 283), Butz ([9], welcher die Schwelle des Farbloserscheinens die absolute, jene des Farbigerscheinens die spezifische nannte) an Pigmentlichtern systematisch studiert worden; Aubert fand das farblose Intervall für rotes Licht geringer als für blaues, bezw. bei gleicher Beleuchtungsstärke die Entfernung für Farbigerscheinen des roten Lichtes grösser, den Gesichtswinkel kleiner. Für spektrale Lichter haben schon Th. Leber (63), W. v. Bezold (4), Dobrowolsky (29, S. 465), Kühne (59, S. 54) ein farbloses Intervall konstatiert. Genaueres brachten die Beobachtungen von Charpentier (10, S. 934, 12), welcher dieses mit fortschreitender Dunkeladaptation wachsende „intervalle photochromatique" für rotes Spektrallicht am kleinsten, aber schon nach 20′ Lichtabschluss deutlich fand, für blaues am grössten. Während die Farblosschwelle durch fortschreitende Dunkeladaptation erniedrigt werde, bleibe die Farbigschwelle gleich, identisch mit der Reizschwelle für das helladaptierte Auge überhaupt (15, S. 293). Auch A. E. Fick (35, S. 457, 468 484, 485) hat an Glaslichtern die Erscheinung des farblosen Intervalls, speziell auch für rotes Licht — allerdings relativ am kleinsten, doch im indirekten Sehen deutlich — konstatiert. Treitel (82, S. 83) behauptete, Pigmentlichter benützend, für sein Auge eine Erniedrigung auch der Farbigschwelle bei Dunkeladaptation; dies gelte sowohl für das Netzhautcentrum als für das indirekte Sehen, da bei gleicher, sehr geringer Beleuchtung die perimetrischen Farbengrenzen für das Hellauge enger seien, als für das Dunkelauge.

Hering (seit 1882, 41, S. 35, 47, 48; 42, S. 19; 49, Vorbem.; 44, S. 568) und Hillebrand (49) benützten — wie noch genauer zu erörtern sein wird — das für das absolut dunkeladaptierte Auge bestehende farblose Intervall sogen. farbiger Pigmentlichter, sowie der einzelnen Lichter des Sonnen- wie des Gaslichtspektrums zur Herstellung farbloser optischer

Gleichungen z. B. mit farblosem gemischten Lichte, zur Bestimmung der relativen Weissvalenzen im Zustande absoluter Dunkeladaptation. F. Hillebrand beobachtete ferner, dass seinem absolut dunkeladaptierten Auge ein Spektrum auf einer Intensitätsstufe noch farblos erschien, welche für das helladaptierte Auge gerade noch über der Schwelle lag und ihm die Farben eben erkennen liess, was Koster (56, S. 19) für sich (ebenso Leber und Kühne, wohl infolge geringerer Adaptationsgrösse) nicht zu konstatieren vermochte. Der letztere Autor meinte übrigens irrtümlicherweise, dass auch das helladaptierte Auge (dessen Zustand übrigens während der Beobachtung durch kurzdauernde, aber eventuell rasch ansteigende Dunkeladaptation verändert wurde!) bei geringer Intensität das Spektrum farblos zu sehen vermöchte, dass demnach „die Farben nur bei einer gewissen Lichtstärke über die Schwelle treten und dies weniger von dem subjektiven Zustand des Auges abhängt". — F. D. Shermann (79) hat sich der oben citierten Angabe Charpentiers angeschlossen, dass (bei Beobachtung mit dem Netzhautcentrum) die Farbigschwelle sogen. farbiger Lichter (Gelatineplatten) für das Hellauge und das Dunkelauge die gleiche sei.

Gegenüber Charpentier hatte H. Parinaud schon 1881 (68) — bei Gelegenheit der Bestimmung der Intensitäts- und Feldgrössenschwelle farbiger Glaslichter für Farbigerscheinen im dunkeladaptierten Auge — behauptet, dass für sein Auge ein farbloses Intervall für rotes Glaslicht (68a, S. 127), sowie für rotes Spektrallicht (69) überhaupt nicht bestehe — die Beobachtungen wurden nach 20—30′ Lichtabschluss begonnen. Parinaud wiederholte 1891 (70) seine Versuche und (1894 [70]) seine These, der Charpentier mit neuen Beobachtungen an Glaslicht und Spektrallicht entgegentrat (24, S. 341), welche wiederum ein farbloses Intervall auch für rotes Licht — allerdings kleiner als für alle anderen farbigen Strahlungen, doch deutlich — ergaben. Dieselbe Angabe wie Parinaud machte König (55, S. 360), dass er nämlich bei den Lichtern von 670—650 stets sofort den schwachen Eindruck von Rot habe. Ebenso erklärte sich J. v. Kries (57, S. 86) für ein völliges Fehlen eines farblosen Intervalls bei rotem Lichte und zwar auf allen Netzhautpartien. Demgegenüber bestätigten Hering (45, S. 535), Koster (56, S. 13) und Tschermak (84, S. 320) die Befunde von Charpentier, auch für rotes Spektrallicht. Die spätere Angabe von J. v. Kries und W. Nagel (58, S. 15), dass „das Rot noch farblos gesehen werden konnte, wenn der Blick ein wenig abgewandt wurde", scheint sich nur auf den rotgrün- (sogen. grün-) blinden Beobachter Nagel zu beziehen.

Die Bedeutung des Adaptationszustandes unseres Sehorgans für die Unterschiedsempfindlichkeit ist noch kaum systematisch untersucht worden. Nur bei Treitel (83, S. 61 u. 64) findet sich die Angabe, dass die Mischung einer Schwarzweissscheibe vom „schwarzen" Papierhintergrunde mit dem Hellauge bei Tagesbeleuchtung besser unterschieden wurde als mit

Ch. Henry (CR. 122. 1896. p. 1139 – 1142):
Weber'sches Gesetz unters. zw. 0 bis 60 MK
mit Photoptometer nach Radiguet
Henry's Formel $S = K\left(1 - e^{-ki^m}\right)$

Hering WSB. 72. S. 310 (Kritik des F. G.): der bemerkte Unterschied bei versch. absol. Längen erscheint keineswegs immer gleich gross, wenn das Verhältnis das angegebene ist. Erst von dem ebenmerkl. Unterschieden
(Biedermann + Loewit) nur für Schallentens. richtig, für Gewichtsschätzg u. Temperatur zweifelhaft bzw. unrichtig, für Licht- u. Druckempf. völlig falsch. U.E. zuerst wachsd, dann abn. mit [steigender] Empf.

Fechner:
Weber'sches Gesetz = die Verschiedenheit zweier Empfindungen ist gleich, wenn die Reize gleiche Grössen[verhältnisse] miteinander bilden.
F. betrachtet das W. G. innerhalb weiter Grenzen der Intensität als gültig": für sehr starke u. sehr schwache Reize bestehen Abweichungen – im letzten Falle wegen „der in jedem Sinnesorgan vorhandenen Erregungen aus inneren Ursachen".

Ebbinghaus (Pfl. A. Bd. 45. 1889. S. 113 – 133) sucht in theoret. Auswertung der Befunde von König u. B. die Fechner'sche Formulierung prinzipiell festzuhalten: die Abweichgn vom W. G. beruhen auf einer versch. Zersetzlichkeit der Moleküle eines Sehstoffes.

E. sagt S. 114:
Die (nach Weber) zu beob. Gesetzmässigkeit besteht überall nur für relativ kleine Intervalle der Reize: sonst durchgehends grosse Abweichung. Für eine gewisse mittlere Reizstärke ist die rel. Unterschiedsschwelle ein Minimum, nach oben wie nach unten Zunahme der rel. U. Sch.. Wirklich genau constant ist der relative Reizunterschied nirgends.
E. selbst glaubt an die Möglichkeit einer einfachen Beziehungsformel zwischen Reiz und Empfindung: bisher nur zu wenig ausgedehnte Beobachtungen!

Plateau Über die gesetzm. Verknüpfg von Stärke der Empf. u. Stärke ihrer Ursache. Pogg. Ann. Bd. 150. S. 465.

dem Dunkelauge bei herabgesetzter Beleuchtung, und zwar war im ersteren Falle das Netzhautcentrum einer Stelle von 30—40° Excentricität um das 10fache, im letzteren um das Doppelte überlegen (was dem Kapitel II vorausgreifend hier bemerkt sei). — Die bisherigen Untersuchungen der Unterschiedsempfindlichkeit für verschiedene Intensitätsstufen desselben farblos erscheinenden Lichtes (also bezüglich der Helligkeit ihrer farblosen Empfindungseffekte) — ebenso die Untersuchungen der Unterschiedsempfindlichkeit für farbig erscheinende Lichter verschiedener Intensität oder verschiedener Wellenlänge (also bezüglich des Farbentones, der Sättigung, der Nuance und der Helligkeit ihrer Empfindungseffekte) sind ohne Rücksicht auf den Adaptationszustand und augenscheinlich in sehr verschiedenen Adaptationsstadien ausgeführt worden. Überdies sind diese Bestimmungen durch die schwellenmindernde Wirkung des Simultankontraktes, durch die Änderung des totalen und besonders des lokalen Adaptationszustandes an der vorwiegend benützten Netzhautstelle während einer Beobachtungsreihe, endlich bei farbigen Lichtern durch die mit Intensitätswechsel eintretende Änderung der Sättigung, der Nüance (und der Helligkeit) aller farbigen Lichter und Änderung auch des Farbentones aller nicht gerade urfarbigen, tonreinen Lichter unvermeidbar kompliziert. Von vorneherein ist wohl eine Minderung der Unterschiedsempfindlichkeit im dunkeladaptierten Auge wahrscheinlich. Eine solche könnte mitspielen bei den starken Abweichungen vom Bouguer-Masson-Babinet-Weber-Fechnerschen Gesetze (angebliche Konstanz des Verhältnisses eben unterscheidbarer Intensitätsstufen), wie sie z. B. von Aubert und Charpentier (13, 16) auf sehr niedrigen Beleuchtungsstufen beobachtet wurden. (Bezüglich spektraler Lichter vergl. Dobrowolsky [27 b].)

Ich beschränke mich daran zu erinnern, dass zur Bestimmung der Unterschiedsempfindlichkeit für farbloses Licht beispielsweise Bouguer, Volkmann (Fechner), Rupp (76), Exner (33, S. 237), Bull (8), Treitel (83, S. 50), Charpentier (16), A. König und E. Brodhun (53, 54), W. Stern (80) im Dunkelzimmer, Masson, Dobrowolsky-Gaine (28), Ebbinghaus (34) im Hellzimmer, Aubert abwechselnd in diesem und jenem beobachtete[1]). — Bei Benützung von farbigen Kreiselscheiben wurde im Hellzimmer gearbeitet, bei Anwendung von Spektrallichtern wurde der anfängliche Adaptationszustand wenigstens durch den Lichtabschluss während der Beobachtung verändert. Es sei beispielsweise hingewiesen auf die Beobachtungen Auberts (3, Kap. III), Chodins ([25]: Bestimmung der Farbigschwelle bei Zumischung von farbigen Papieren zu farblosen) an Pigmentlichtern. An Spektrallichtern bestimmten die Intensitätsunterschiedsschwellen Lamansky (62), W. Dobrowolsky (27 u. 27b, S. 74 u. 92; 29 u. 30), Charpentier (17),

[1]) Vgl. auch Kraepelin (Wundts philosoph. Studien Bd. II. S. 306. 1885), O. Schirmer (Arch. f. Ophth. Bd. 36. IV. S. 121. 1890), R. Simon (Zeitschr. f. Psych. u. Phys. d. S. O. Bd. 21. S. 433. 1899).

A. König und Brodhun (53, 54); die Farbigschwelle bei Zumischung von Lampenlicht Vierordt (88), Charpentier (15, S. 311) bei Zumischung von farbigem Glaslicht zu farblosem — der Adaptationszustand sei ohne Einfluss; die Wellenlängenunterschiedsschwellen Mandelstamm (65), W. Dobrowolsky (27c, 31), Macé de Lepinay und Nicati (64), R. O. Peirce (72), König und Dieterici (52), König und Brodhun (53, 54), Uhthoff (87), Mentz (66, S. 547).

Auch die Bestimmungen der bis zum hellsten Effekt notwendigen Reizdauer, wie sie Exner (33) für farbloses Licht, Lamansky (62) für Pigmentlichter, A. Kunkel (60) für Spektrallichter ausgeführt haben, ebenso die Bestimmungen für Helligkeitsänderungen (speziell L. W. Stern [80], Beobachtungen mit thatsächlich dunkeladaptiertem Auge) könnten vom jeweiligen Hell-Dunkel-Adaptationszustande des Sehorgans beeinflusst sein.

Im Anschlusse hieran sei der Frage gedacht, in welchen Beziehungen die Dunkeladaptation den Eindruck farbiger Lichter überhaupt verändert. Die Steigerung der subjektiven Helligkeit bei gleichbleibender Lichtintensität, die Minderung der Sättigung, eventuell bis zum Farbloserscheinen, sind schon oben erwähnt worden. Aber auch eine Änderung des Farbentones ist mehrfach konstatiert worden. Hering hat bereits 1874 (40, § 44, 45, 46) darauf hingewiesen, dass sich das helladaptierte Sehorgan sowohl bei natürlicher als künstlicher Beleuchtung immer mehr oder minder in einer künstlichen chromatischen Stimmung befinde. Daher sei die Farbe des simultanen sowie des successiven Kontrastes (negativen Nachbildes) nicht immer genau das, was man die Komplementärfarbe zu nennen pflegt.

Diese unter den gewöhnlichen Beobachtungsbedingungen für das an Tageslicht „hell"adaptierte Auge bestehende und meist nicht unerhebliche Abweichung der Kontrastfarbe von der Gegenfarbe war bereits W. v. Goethe bekannt und führte ihn zur Aufstellung der „Paare einander fordernder oder korrespondierender Farben" (37, I. 1. § 50, 56, 809, 810). Dieselbe Abweichung von der Gegenfarbe — im Sinne von Addition einer gewissen Quantität von Blaurot — aber in weit geringerem Masse gilt bekanntlich für das an Tageslicht „hell"adaptierte Auge auch bezüglich der Kompensationsfarbe, wie sie zur Herstellung einer farblos erscheinenden Mischung mit einem gegebenen farbigen Lichte gefordert wird. Diese Abweichung[1]), derzufolge beim Kontrast, bei der Kompensation sowie an den perimetrischen „Grenzen" nicht genau Urfarbe und Urfarbe (Gegenfarbe) verknüpft erscheinen, kommt nun in Wegfall, wenn das Auge längere Zeit vom Licht abgeschlossen wird. Natürlich sind dann für das Dunkelauge nicht mehr dieselben Lichter urfarbig oder tonrein, also die Kardinalpunkte

[1]) Dieselbe ist in letzter Zeit von A. Krause unter Tschermaks Leitung genauer studiert worden und wird den Gegenstand der demnächst erscheinenden Abhandlung „Über das Verhältnis von Kontrastfarbe, Kompensationsfarbe und Gegenfarbe" bilden.

A. König u. B. prüften 6 Spektralbezirke, fanden keine einfache Beziehungsformel für Reiz und Empfindung, keinen typ. Unterschied diesbezüglich zwischen Ft und F Blinden, die Wellenlänge ohne Einfluss auf das Weber'sche Gesetz.

J. Johansson u. K. Petrén, Unters. üb. d. Weber'sche Gesetz beim Lichtsinne des NH Centr. Skand. A. f. Phys. XV. 1903. S. 35.

K. Petrén, Über d. Beziehgn zwischen der Adaptation u. der Abh. der rel. Unterschiedsempfindlichkeit von der absol. Intensität. Ebenda S. 72.

Wenn das Auge für die betr. Reizintensitäten adaptiert ist, gelte das Weber'sche Gesetz. Sonst erscheint die rel. Unterschieds E bei den versch. Intensitäten keineswegs constant, vielmehr ~~erscheint~~ der eben merkl. Unterschied bei hohen u. bei gering. Intensitäten derselbe zu bleiben.

Agmar Karplus, Beitrag z. L. v. d. Gesichtsempfindgn. sog. Rotblinder. I. D. Bern 1902. 37 S.

Best. der Verteilg der Helligkeitswerte im Spektrum mittelst heterochrom. Phot. sowie nach der Hering'schen Methode (Unterschiedsschwelle für zumischenden weissen Lichts) — für hellad. und dunkelad. (farblos erscheinende Intensitätsstufe benützt) S. O. Hell. Max. Hellad. 560, Dunkelad. 520 mμ am Helmholtz'schen LMA.

---

im Spektrum anders gelegen, als für das chromatisch verstimmte Hellauge (Hering [43, S. 2, Note], Hess [46, 47]).

Auf eine Verschiedenheit des Eindruckes desselben sogen. farbigen Lichtes im gewöhnlich „hell“adaptierten und im dunkeladaptierten Auge weist schon die Angabe Purkinjes hin, dass ihm ein gelbes Papier in der Morgendämmerung rosa erscheine; dasselbe beobachteten Aubert und H. Cohn (26) bei einer gewissen niedrigen Beleuchtung und thatsächlich dunkeladaptiertem Auge. Allerdings sind diese Angaben durch die bekannte Tonänderung (Gelblicher- oder Bläulicherwerden) mischfarbiger Lichter bei blosser Intensitätssteigerung kompliziert. — Des weiteren giebt Charpentier (24, S. 194) an, dass dem Dunkelauge ein für das Hellauge weisses Papier auf schwarzem Grunde rötlich erscheine. — Hering hat die künstliche Zerfällung eines Eindruckes in Doppelbilder durch verminderte oder vermehrte Konvergenz zum Vergleiche der chromatischen Stimmung der beiden Augen, speziell des einen, helladaptierten und des anderen, dunkeladaptierten benützt.

Der Lichtabschluss wird demnach nach Herings Vorgang (41, S. 30) verwendet, um das Sehorgan in neutrale chromatische Stimmung zu versetzen; allerdings muss dabei die gleichzeitig eintretende Steigerung der Weisserregbarkeit mit in Kauf genommen werden. C. Hess (46) hat diese Massregel als eine der Bedingungen bezeichnet für den Nachweis der Übereinstimmung der relativen Unterscheidungsgrenzen für Rot und Grün, Gelb und Blau im indirekten Sehen. — Für die chromatische Verstimmung des gewöhnlich „hell“-adaptierten Auges kommen einerseits in Betracht die freien farbigen Valenzen des Tageslichtes, andererseits die elektive Absorption des Lichtes in den Augenmedien (der grüngelbe bis rotgelbe Farbstoff der Linse: Hering; das grüngelbe bis rotgelbe Pigment der Makula: Hering, Sachs; das gelbrote diasklerale Seitenlicht: Hering, Hess; eventuell der braune Farbstoff des Pigmentepithels und der nach Lichtabschluss angehäufte, durch das Tageslich sich zersetzende Sehpurpur).

II. Vergleich der Empfindlichkeit der verschiedenen Netzhautteile im Hellauge und im Dunkelauge.

Litteratur:

90. Asher, L., Über das Grenzgebiet des Licht- und Raumsinnes. Zeitschr. f. Biol. Bd. 35. 1897. S. 394.
91. Bloom, S. und Garten, S., Vergleichende Untersuchungen der Sehschärfe des hell- und des dunkeladaptierten Auges. Pflügers Arch. Bd. 72. S. 372. 1898.
92. Charpentier, A., La sensation lumineuse dans la fovea centralis. Arch. d'ophth. Bd. 16. 1896. S. 337.
93. Erdmann, O. E., Über ungleiche Ermüdung centraler und peripherischer Teile der Netzhaut. Centralbl. f. prakt. Augenheilk. 1884. S. 120.

94. Fechner, Th., Über einige Verhältnisse des binokularen Sehens. Abhandl. d. sächs. Ges. d. Wiss. Bd. VII. 1860.
95. Guillery, Vergleichende Untersuchungen über Raum-, Licht- und Farbensinn in Centrum und Peripherie der Netzhaut. Zeitschr. f. Psych. u. Phys. d. S. O. Bd. XII. 1896. S. 261.
96. — — Weitere Untersuchungen über den Lichtsinn. Zeitschr. f. Psych. u. Phys. d. S. O. Bd. XIII. 1897. S. 187.
97. — — Zur Physiologie des Netzhautcentrums. Pflügers Arch. f. d. ges. Phys. Bd. 66. S. 401. 1897.
98. Hering, E., Über angebliche Blaublindheit der Fovea centralis. Pflügers Arch. Bd. 59. 1894. S. 403.
99. — — Über angebliche Blaublindheit der Zapfen-Sehzellen. Pflügers Arch. Bd. 61. 1895. S. 601.
100. Hilbert, R., Ortsbestimmung derjenigen Zone der Retina, in welcher lichtschwache Objekte am deutlichsten wahrgenommen werden. Fortschr. d. Med. Nr. 24. S. 796. 1884.
101. König, A., Über den menschlichen Sehpurpur und seine Bedeutung für das Sehen. Berl. Sitzber. 21. Juni. 1894. S. 577.
102. — — Ein kurzes Wort zur Entgegnung und Berichtigung. Pflügers Arch. Bd. 60. S. 230. 1895.
103. Kries, J. v., Über den Einfluss der Adaptation auf Licht- und Farbenempfindung und über die Funktion der Stäbchen. Ber. d. naturf. Ges. zu Freiburg i. B. 1894. Bd. IX. Heft 2.
104. — — Über die funktionellen Verschiedenheiten des Netzhautcentrums und der Nachbarteile. Arch. f. Ophth. 42. Bd. III. H. S. 95. 1896.
105. — — Über die absolute Empfindlichkeit der verschiedenen Netzhautteile im dunkeladaptierten Auge. (Nach Versuchen der Herren Dr. Breuer und A. Pertz). Zeitschr. f. Psych. u. Phys. d. S. O. Bd. XV. 1897. S. 327.
106. Kühne, W., Über die Verbreitung des Sehpurpurs im menschlichen Auge. Untersuch. a. d. phys. Inst. zu Heidelberg. 1878. I. Bd. S. 105.
107. Lummer, O., Über Grauglut und Rotglut. Wied. Ann. 1897. Bd. 62. S. 14.
108. Miles, Pogg. Ann. Bd. 42. 1837. S. 239.
109. Nuel, Analyse des travaux de von Kries. Arch. d'ophth. Bd. 15. 1895. S. 645.
110. Ruete, Explicatio facti, quod minimae paulum lucentes stellae tantum peripheria retinae cerni possunt. Leipzig. 1859.
111. Schadow, Die Lichtempfindlichkeit der peripheren Netzhautteile im Verhältnis zu deren Raum- und Farbensinn. Pflügers Arch. Bd. 19. S. 439. 1879.

Schon aus der Erfahrung Auberts (contra Miles [108] Angabe von Dunklererscheinen im indirekten Sehen), dass ein Feld weissen Papiers auf schwarzem Grund im direkten und indirekten Sehen des helladaptierten Auges keinen Helligkeitsunterschied aufweist (2, § 48, S. 92), war auf keinen erheblichen Unterschied der Weissempfindlichkeit der verschiedenen Netzhautteile im helladaptierten Auge zu schliessen: allerdings sind mir keine genaueren vergleichenden Schwellenbestimmungen bekannt. — Für das thatsächlich dunkeladaptierte Auge hingegen ist schon von Cassini, dann von Arago, d'Arrest (Maximum bei 11^0—13^0 2′ Excentricität; vergl. Ruete [110] und Fechner [94, S. 373]) eine höhere Empfindlichkeit im indirekten Sehen angegeben worden. Aubert hat jedoch irrtümlicherweise (wohl infolge von Verwendung zu hoher Lichtstärken) eine solche bestritten, jene Beobachtungen auf zufällige lokale Adaptationsdifferenzen bezogen und eine gleich-

mässige Weisserregbarkeit der gesamten Netzhaut auch im dunkeladaptierten Zustande vertreten (2, Kap. IV, S. 89, 3, § 27, S. 495).

1877 fand Charpentier (10, S. 911) die Schwelle für Tageslicht, sowie für alle, zunächst farblos erscheinenden sog. farbigen Lichter im dunkeladaptierten Auge für das Centrum und 15°, 30°, 45° Excentricität gleich, bei schwacher Excentricität 3°—4° und speziell bei blauem Lichte (wobei aber die Absorption durch die Makula mit in Betracht kommt) hingegen niedriger, was Delboeuf und Donders (1880) bestätigten. — Schadow (111) erklärte die Empfindlichkeit für Stearinkerzenlicht im Centrum des Dunkelauges für grösser als bei 60° Excentricität, hingegen als geringer wie bei 30° Excentricität: das letztere gelte aber nur, wenn bei dieser Bestimmung das Centrum selbst von einem Lichtreize frei bleibe. Ähnlich spricht sich Butz (9) aus: Schwelle bei 30° etwa die Hälfte der centralen, bei 60° nur wenig niedriger als im Centrum. Hilbert (100) bestimmte als diejenige Retinazone, in welcher lichtschwache Objekte (Punkte aus Leuchtfarbe) bei thatsächlich dunkeladaptiertem Auge am hellsten erscheinen, eine solche von 4° 36,5′ Excentricität innen und 7° 33,5′ aussen für sein rechtes Auge, von 5° 43,5′ innen und 6° 10′ aussen für sein linkes Auge (ein anderer Beobachter RA 4° 20′ innen und 3° 46,5′ aussen, LA 3° 50′ innen nnd 3° 33,5′ aussen); ebenso A. E. Fick (35) eine solche von 7,5°—15°.

Bei Anwendung farbiger Glaslichter fand Charpentier (15) das Netzhautcentrum im dunkeladaptierten Auge nicht bloss für blaues, sondern auch — obzwar mit geringerem Unterschiede — für grünes und rotes Licht weniger empfindlich als die excentrischen Partien. Der deutlich minderempfindliche Bezirk habe nur etwa 0,2 mm oder 45′ Durchmesser (24, S. 341). — Guillery (96) bestimmte die Reizschwellenverteilung im dunkeladaptierten Auge durch die Minimalgrösse einer Blauscheibe von geringer Lichtstärke. Bis zur Grösse von 0,6 mm Netzhautfläche verschwand dieselbe bei centraler Fixation. Bis zu 30—35° Excentricität wurde 0,01 mm oder 2,27′, darüberhinaus 0,02 mm oder 4,54′ als Minimalfläche festgestellt. (Bekanntlich ist das Aussehen kleiner Objekte von wenigen Minuten Gesichtswinkel — je nach den Lichtstärken — ausschliesslich von der Lichtmenge abhängig; (vergl. L. Asher [90]). Für das Hellauge (mit Momentandunkeladaptation und von 5° Excentricität ab) giebt Guillery (95 u. 96) eine rasche Zunahme der „Minimalgrösse“ im indirekten Sehen an: weisse Scheibe auf „schwarzem“ Grund mit Makroskop betrachtet, weisses Fixationszeichen. Später (97, S. 415) suchte derselbe Beobachter für das Dunkelauge (heller Fixationspunkt!) die zonenweise Verteilung der Reizschwellen zu charakterisieren durch die Minimalbreite eines eine centrale schwarze Scheibe (mit Durchstich in der Mitte) umgebenden Ringes von geringer Lichtstärke: es scheint sich aus seinen Angaben eine Zunahme der Empfindlichkeit schon innerhalb des

stäbchenfreien Bezirkes (von 1° 10′ Excentricität ab), ein Maximum in der äusseren Zone der Makula zu ergeben (97, S. 422).

Gegenüber dem Satze Charpentiers, dass auch im Netzhautcentrum eine wiewohl geringere Empfindlichkeitssteigerung bei Lichtabschluss eintrete, verfocht Parinaud (69) den völligen Mangel einer Dunkeladaptation im fovealen Bezirke. Der Wiederholung dieser These auf Grund neuer Beobachtungen (71) trat Charpentier (93) gleichfalls mit erneuten Versuchen entgegen. — A. E. Fick (35, S. 476 u. 478) und Th. Treitel (83, S. 71) sind zu dem gleichen Resultate wie Charpentier gekommen: Empfindlichkeitszunahme im Netzhautcentrum auch noch nach halbstündigem Lichtabschluss; A. König (101) hat für rotes Licht eine Empfindlichkeitsdifferenz zwischen Fovea und Umgebung bestritten. J. v. Kries (104, S. 112) schloss sich 1896 zunächst dem Standpunkte Parinauds an, sprach sich sogar dafür aus, dass „durch längere Dunkeladaptation die Schwellenwerte im Centrum eher etwas in die Höhe gehen.“ Demgegenüber bestätigte A. Tschermak (84, S. 319) den Satz Charpentiers, dass „die Reizschwelle für dauernd farblos erscheinendes Mischlicht sowie für die einzelnen homogenen Strahlungen des Spektrums durch längeren Lichtabschluss nicht bloss in der Peripherie, sondern auch — allerdings erheblich weniger — im Centrum erniedrigt wird.“

Bezüglich der Schwellenverteilung im dunkeladaptierten Auge war bereits aus den Beobachtungen von A. E. Fick (35, S. 486) — Fixation zwischen 2 Punkten aus Leuchtfarbe in 16° Abstand — speziell für Natriumlicht schon bei $1^1/_4$° Excentricität eine höhere Empfindlichkeit als im Centrum zu entnehmen. Ferner hatte J. v. Kries (103, S. 7) Analoges für blaues Licht gefunden: er konnte für das Dunkelauge in einer Reihe blauer Punkte bei einer bestimmten Beleuchtung zwar den jeweils fixierten zum Verschwinden bringen, während diejenigen, die mehr als 30′ von ihm abstanden (also noch sicher im stäbchenfreien Bezirk abgebildet wurden), sichtbar blieben und zwar farblos erschienen. — Auch Hering (45, S. 335) hatte 1895 angegeben, dass ein schnelles Anwachsen der Weissempfindlichkeit bereits innerhalb der makularen Region zu bemerken ist. Analoge Unterschiede konstatierte W. Koster (56, S. 15) innerhalb des stäbchenfreien Bezirkes: Zunahme schon bei 34′ Excentrität.

Im Jahre 1897 führten die Untersuchungen der Schüler von J. v. Kries, Breuer und Pertz (105, S. 326) zu dem Ergebnisse, dass (bei Benützung eines sehr lichtschwachen Fixationszeichens) ein Ansteigen der Empfindlichkeit für (nichthomogenes) blaues, weniger stark für gelbes Licht bereits in 0,69°, ja in 0,25° Excentricität — also zweifellos noch innerhalb der Fovea, bezw. des stäbchenfreien und des purpurermangelnden Bezirkes — zu konstatieren war: das tadellose Festhalten der Fixation ergiebt sich schon aus der asymmetrisch gefundenen Lage der Stellen gleicher Empfindlichkeit auf der nasalen

(rascherer Anstieg) und temporalen Netzhauthälfte. In keinem noch so kleinen Bezirke erwiesen sich die Schwellenwerte als wirklich konstant (105, S. 348). Das von 1° 15′ Excentricität oder 0,33 mm, bezw. 1° oder 0,26 mm ab (also anscheinend noch vor der Grenze des stäbchenfreien Bezirkes nach Koster: 1° 30′ oder 0,4 mm) für blaues Licht sehr rasch erfolgende Ansteigen der Empfindlichkeit ging bis zu 10—15° Excentricität. Für das sofort farbig erscheinende rote Licht wurde hingegen (vergl. König [101]) eine allmähliche Abnahme der Empfindlichkeit vom Netzhautcentrum peripherwärts gefunden, und zwar schon bei 0,25° merklich. — Die letztere Angabe widerspricht den älteren Beobachtungen von A. E. Fick (35, S. 484), sowie den Erfahrungen von Hess und Hering (48, S. 119), welche auch bei Anwendung roten Lichtes für sich und eine Totalfarbenblinde indirekt grössere Empfindlichkeit (niedrigere Schwelle für Farbloserscheinen) fanden als im Netzhautcentrum. — Das Bestehen einer centralen Dunkeladaptation und das Ansteigen der Empfindlichkeit schon innerhalb des stäbchenfreien Bezirkes haben S. Bloom und S. Garten (91, S. 375) für gemischtes farbloses Licht bestätigt: dieselben Beobachter fanden auch, dass das Hellauge peripher (21—40°) bereits bei einer für das Centrum des dunkeladaptierten Auges noch unterschwelligen Beleuchtung gewisse Proben sieht und unterscheidet (91, S. 391).

Mit der von Hering oft benutzten Anordnung — einer Gruppe koncentrisch geordneter Löcher, welche von hinten her variabel durchleuchtet werden — kann sich ein normales Auge bei leidlicher Adaptationsgrösse leicht davon überzeugen, dass die Empfindlichkeit sowohl für farbloses als farbiges, speziell auch spektrales Licht im Laufe längeren Lichtabschlusses, nicht etwa bloss in den ersten 3—4 Minuten, auch im Netzhautcentrum anwächst und peripherwärts schon innerhalb des stäbchenfreien Gebietes deutlich zunimmt. Wählt man sorgfältig eine gerade passende Beleuchtungsstufe, so bemerkt das normale Auge bald nach Beginn des Lichtabschlusses die Punktgruppe im stärker indirekten Sehen, nicht aber bei direkter Zuwendung des Blickes. Im weiteren Verlaufe verschwindet dann nur mehr der jeweils fixierte Punkt, während seine Nachbarn bereits sichtbar bleiben. Endlich — wenn die Beleuchtung nicht zu gering genommen war und der Lichtabschluss genug lange gewährt hat — bleibt auch der jeweils fixierte Punkt, obwohl weniger hell als die anderen, deutlich sichtbar. Für jedes Stadium der Dunkeladaptation kann man demnach mit verschiedenen Beleuchtungsstufen verschieden grosse Bezirke von Verschwinden eines Lichtpunktes um das Centrum herum abgrenzen. Am leichtesten wird ein solcher Bezirk von jenem Excentricitätsgrade abgrenzbar sein, bei welchem das Anwachsen der Empfindlichkeit ein relativ rascheres wird: eine solche Biegungsstelle der Schwellenverteilungskurve liegt für Breuer und Pertz bei etwas über 1°, wohl nicht weit von der Grenze des stäbchenfreien Bezirkes. Es

wäre natürlich ganz unberechtigt, aus der Möglichkeit einer Abgrenzung solcher centralen Verschwindungsbezirke („centraler Skotome" nach Donders[1]), speziell eines solchen von der eben genannten Ausdehnung, z. B. von 4° oder 1,05 mm in Versuchen von J. v. Kries (57, S. 121), ferner 2° 17′ oder 0,6 mm für eine gewisse Intensitätsstufe blauen Lichtes bei Guillery (96, S. 208), später 2° 24′ oder 0,63 mm für eine gewisse Stufe von Gaslicht durch Tuscheflüssigkeit (97, S. 421), etwa den Schluss zu ziehen (z. B. bei Guillery [96, S. 208]), dass am Sehen des dunkeladaptierten Auges bezw. am sogen. Dämmerungssehen das Netzhautcentrum überhaupt unbeteiligt sei, oder dass dem Centrum eine Empfindung mangle, die in seiner nächsten Nachbarschaft vorhanden ist (vergl. Tschermak (84, S. 320).

Auch J. v. Kries (57, S. 120) bemerkt, dass er die Grenze des Verschwindens peripher noch sichtbarer Objekte bei 2—3° Abstand vom Centrum etwas verschieden finde, je nach der dem Objekte gegebenen Lichtstärke: bei lichtschwachen Objekten bis zu 3°. — Eine sprunghafte Änderung der Schwellenwerte zwischen irgend einem centralen Bezirke und der excentrischen Netzhautpartie oder zwischen verschiedenen Regionen derselben ist nach dem Obigen entschieden in Abrede zu stellen.

Eine höhere Reizbarkeit der excentrischen Netzhautregion gegenüber der Fovea im dunkeladaptierten Auge besteht auch gegenüber Röntgenstrahlen, wie E. Dorn (31a), ebenso Himstedt und Nagel (50) gezeigt haben. E. Dorns Nachweis eines nur relativen centralen Skotoms für Röntgenstrahlen beim normalen und ebenso beim total Farbenblinden (gegenüber einem deutlichen absoluten Skotom entsprechend dem blinden Fleck) ist besonders bedeutsam.

Bezüglich der Geschwindigkeit des Adaptationsvorganges haben Erdmann (93) und Treitel (83, S. 71) eine langsamere Steigerung der Empfindlichkeit in der Fovea, verglichen mit der Netzhautperipherie, angegeben. Doch vermuteten sie, dass die Fovea bei fortschreitender Dunkeladaptation das nachhole und schliesslich wieder das Übergewicht gewinne — was nach den angeführten Beobachtungen, z. B. vielstündiger Lichtabschluss bei A. E. Fick (35, S. 474) und anderen, ein Irrtum ist. Später hat Tschermak (84, S. 317) neben der bedeutend geringeren maximalen Adaptationsgrösse den erheblich langsameren Adaptationsverlauf im Netzhautcentrum seines Auges wieder betont. Er sprach sich andererseits für eine langsamere Zerstörung des einmal erreichten centralen Adaptationseffektes bei erneutem Lichteinfalle aus. — Die Frage, ob erhebliche und etwa typische individuelle Verschiedenheiten bezüglich der Geschwindigkeit und Grösse der Adaptation in den einzelnen Netzhautregionen, speziell im stäbchenfreien verglichen mit dem stäbchenhaltigen Areale, bestehen, ist einer systematischen Untersuchung noch nicht unterzogen worden.

[1]) British med. Journal 1880. S. 767.

Pyper

C. Cohen, Über den Einfluss des Lebensalters auf die Adaptation. Klin. Monatsbl. f. Augenh. 14. (N. F. 2) 120–134. 1906

findet optim. Ad. im 3.–4. Decennium, im Alter Abnahme des Max. wie der Geschwind.

unters. für einz. Leben.

Macula lutea nach H. Müller Ges. Schr. I. Bd. S. 108
in e. horiz. D. von 0,88 – 1,5 mm intensiv gefärbt
darum heller tingierter Hof bis 3 mm Gesammt D.
Entopt. Messung des Maculaflecks bei A. Ewald
Heid. Unters. II. Bd.
S. 241–248

MFl : roth. Hof = 1,5 : 5
roth. Hof = 5 bis 5,5 mm) Maculafleck 1,5 mm D

Schwalbe, Gr.-Saemisch Bd. I. S. 428
Haab, Die Farbe der Mac. lutea u. die entopt. W. des Sehpurpurs. Klin. Mbll. f. A. XVII. S. 387–396.
Mac. l. mehrmals über 3 mm horiz.

Haab sah im Menschenaugen den SP bis an den gelben Fleck heranreichen und in dessen unmittelb. Umgebung reichlicher vorhanden sein; beim Abblassen des S.P. erschien die Macula ausgedehnter.
Stets ein centrales Gebiet von 1 – 1,5 mm D auch an ganz frischen Augen gelb, nicht roth.

Nach Santoningenuss entopt. Maculafleck viel ausgedehnter.
Haab bezieht die Entopt. W. eines rothen Hofes nach Lichtabschluss nicht auf den Seh P, sondern auf die äussere Zone der Macula lutea – auf einen mit dem Maculagelb verwandten oder identischen Farbstoff.

Wegen der bisher wie auch später häufig erfolgenden Bezugnahme auf die Grösse des stäbchenfreien Bezirkes sei hier der bezüglichen Untersuchungen von W. Koster (56) gedacht; eine Übersicht der älteren Angaben hat Hering (99) gegeben. Koster fand an zwei frisch untersuchten normalen kindlichen Augen, bei 20 mm bezw. 18 mm Äquatorialdurchmesser, eine Partie von 0,874 mm Horizontal- und 0,828 Vertikalausdehnung, bezw. 0,44 und 0,44 mm völlig stäbchenlos, eine solche von 1,84 bezw. 0,88—0,77 stäbchenarm: an einem dritten kindlichen Auge nach Formolhärtung bis 0,552 stäbchenfrei; endlich an dem Auge einer 20jährigen das stäbchenfreie Areal zu 0,901 mm. Koster schlägt daher vor, den stäbchenfreien Bezirk beim Erwachsenen auf 0,8 mm oder 3° 3′ Durchmesser anzunehmen, optischen Versuchen aber zur vollen Sicherheit nur 0,5 mm oder 1° 54′ zu Grunde zu legen. — Auch daran sei hier erinnert, dass Kühne (106) sowie Donders am menschlichen Auge die Stäbchen am Rande des centralen Bezirkes frei von Sehpurpur fanden. — Die Begriffe „Fovea" (etwa 0,24—0,3 mm oder 55′—70′), „stäbchenfreier Bezirk" (nach Koster 0,8 mm oder 3° 3′), „purpurfreies Areal"[1]) und „Makula" (etwa 1,0—3,0 mm oder 4°—12°) sind demnach von sehr verschiedener Bedeutung — wie Hering (99, S. 606) nachdrücklich betont hat.

Wie bezüglich der Reizschwelle, so sind auch bezüglich der „farblosen Intervalle" anwachsender sogen. farbiger Lichter Verschiedenheiten zwischen dem Netzhautcentrum und der excentrischen Region des Dunkelauges beobachtet worden. — Nachdem bereits Dobrowolsky (29, S. 465) jene Erscheinung speziell auch für das Netzhautcentrum angegeben hatte, fand Charpentier (10), dass das „intervalle photochromatique" bei allen sogen. farbigen Lichtern zwar auch im Centrum besteht, jedoch daselbst kleiner ist als im direkten Sehen. Parinaud hingegen bestritt (68a, 69) die genannte Erscheinung nicht bloss für rotes Licht überhaupt, sondern auch für die anderen farbigen Lichter (für nichthomogene vermutungsweise [68a], für spektrale [69]), soweit die Fovea in Betracht komme. Auf wesentlich denselben Standpunkt stellte sich A. König (101, S. 590): nur ein gewisses gelbes Licht von etwa 580 $m\mu$ trete auch in der Fovea zunächst farblos über die Schwelle. Parinaud (71) wiederholte seine These auf Grund neuer Beobachtungen. Charpentier (92, S. 341) trat derselben mit detaillierten Versuchen entgegen, welche für alle spektralen Lichter auch im Centrum ein allerdings relativ beschränktes farbloses Intervall (für rotes Licht am kleinsten) ergaben: dasselbe nehme im Verlaufe fortgesetzten Lichtabschlusses zu. Für sein Auge erreiche ein sogen. farbiges Licht im Centrum die Farblosschwelle erst bei einer Intensität, bei welcher es extrafoveal schon farbig erscheine

[1]) Hering hat auf die Möglichkeit hingewiesen, dass der Sehpurpur in den Zapfen nicht ganz fehle, sondern nur durch geringe Konzentration unmerklich sei: es würde hiezu eine nur mässige Verdünnung des Purpurgrades der Stäbchen genügen.

([92, S. 339] contra A. E. Fick [35, S. 479]). — Endlich gab Lummer (107) an, dass in einem centralen Bezirke von etwa 6° die scheinbare anfängliche Grauglut erhitzter fester Körper (F. H. Weber 1887, Emden, Lummer) fehle: von der im Centrum relativ hohen Schwelle ab sei daselbst sofort Rotglut, allerdings anfangs minder satt zu bemerken.

Analoges ist übrigens schon aus den Beobachtungen von Hering (seit 1882 speziell [44, 45, S. 535) und von F. Hillebrand (49) zu folgern. Auch A. E. Fick (35, S. 484—487) kam zu dem Resultate, dass auch im Netzhautcentrum alle sogen. farbigen Lichter, selbst rotes Licht „hie und da", farblos über die Schwelle treten: während die Schwelle für Farbloserscheinen im indirekten Sehen niedriger sei als im Centrum — für rotes Licht geringerer Unterschied als für gelbes, grünes oder gar blaues —, sei die Farbigschwelle im Centrum am niedrigsten und wachse rasch peripherwärts.

Hingegen schloss sich J. v. Kries (57, S. 81, 104, Kap. 3) im wesentlichen Parinaud an: wenigstens trete blaues Licht im Centrum sofort farbig über die Schwelle, während grünes zunächst weniger gut gefärbt und gelbes von zweifelhafter Farbe erscheine. 1894 (103, S. 7) hatte derselbe Beobachter angegeben, dass für sein dunkeladaptiertes Auge in einer Reihe blauer Punkte bei geeigneter Beleuchtung, welche den jeweils fixierten Punkt verschwinden lässt, „diejenigen, die mehr als 30′ von ihm abstehen (also noch sicher im stäbchenfreien Bezirke abgebildet werden: Radius nach Koster 0,4 mm oder 1° 31′), sichtbar bleiben, aber stets farblos sind". — W. Koster (56, S. 13), anscheinend auch Guillery (97, S. 436), sowie A. Tschermak (84, S. 320) schlossen sich hier wiederum Charpentier an. — Die Angabe über sofortiges Farbigerscheinen blauen Lichtes im Centrum haben J. v. Kries, Pertz und A. E. Fick (bei J. v. Kries [105, S. 348]) wiederholt: der letztere zog seine frühere gegenteilige Mitteilung zurück, in der er gerade dem blauen Lichte central das relativ grösste farblose Intervall zugeschrieben hatte (35, S. 478).

Die Unterschiedsempfindlichkeit wurde in ihren verschiedenen Formen (vergl. Kap. I) durchwegs im Centrum höher befunden als in der Peripherie, gleichgültig, ob das Auge hell- oder dunkeladaptiert war. Die Untersuchungen von Rupp (76), Dobrowolsky und Gaine (28), Exner (33), Chodin (25), Bull (8), Guillery (95, S. 261; 97, S. 401) beziehen sich auf das Hellauge. Th. Treitel (83, S. 61 u. 64) endlich hat die bereits erwähnte Angabe gemacht, dass im Dunkelauge das Centrum dem indirekten Sehen an Unterschiedsempfindlichkeit für farbloses gemischtes Licht weit weniger überlegen sei als im Hellauge.

Zum Schlusse sei noch kurz der Behauptung von A. König (101, 102) gedacht, dass das Netzhautcentrum in 55—70′ Ausdehnung überhaupt „blaublind" sei. Hering (98, 99) hat diese These auf Grund einer genauen Analyse der angegebenen Verwechslungsgleichungen für das Auge von König wie für das normale Auge überhaupt widerlegt. Nuel (109, S. 645) (die Sicht-

barkeit der entoptischen Mosaikfigur der Fovea auf blauem Spektrallichte betonend), Koster (56), Parinaud (71, S. 99), Charpentier (S. 337), J. v. Kries (103, S. 7; 105, S. 348), Pertz, A. E. Fick (bei J. v. Kries [105, S. 349]) haben sich diesbezüglich Hering angeschlossen.

III. Über die relative Helligkeit verschiedenfarbiger Lichter im Hellauge und im Dunkelauge, sowie auf den verschiedenen Netzhautteilen (Purkinjesches Phänomen).

Litteratur:

112. Albert, E., Über die Änderung von Spektralfarben und Pigmentfarben bei abnehmender Beleuchtung. Wied. Ann. Bd. 16. 1882. S. 129.
113. Basevi, Influenza dell' adattamento sulla sensibilità retinica per la luce e per i colori. Ann. d'ottalm. XVII. S. 475. 1889. Vgl. auch: Sulla sensibilità della periferia della retina per la luce e per i colori. Ann. d'Ottalm. XVIII. 1890. S. 41 und Arch. f. Augenheilkunde. XXI. S. 119.
114. Brodhun, E., Beiträge zur Farbenlehre. Diss. Berlin. 1887.
115. Fraunhofer, Denkschr. d. bayr. Akad. Bd. V. 1817. S. 193 und Ges.-Schriften. 1888. S. 1.
116. Helmholtz, H. v., Physiologische Optik.
117. Hering, E., Prüfung der sog. Farbendreiecke mit Hilfe des Farbensinnes excentrischer Netzhautstellen. Pflügers Arch. Bd. 47. S. 417. 1890.
118. König, A., Über Newtons Gesetz der Farbenmischung und darauf bezügliche Versuche des Hrn. E. Brodhun. Berl. Sitzber. XVIII. 31. März. 1887. S. 311.
119. — — Die Abhängigkeit der Farben- und Helligkeitsgleichungen von der absoluten Intensität. Berl. Sitzber. 1897. 26. Bd. 1897 am 22. u. 29. Juli. S. 871.
120. Macé de Lépinay et Nicati, Recherches expérim. sur le phénomène de Purkinje. Journ. de Phys. 1882. I. p. 33.
121. — — Relation entre la loi de Bouguer-Masson et le phénomène de Purkinje. C. R. de l'ac. fr. Bd. 94. 1882. S. 785. Vgl. auch C. R. de l'ac. fr. März 1881 und Ann. de chimie et physique 5e série. T. 24. S. 289. 1881 und T. 30. S. 145. 1883.
122. Kries, J. v., Die Gesichtsempfindungen und ihre Analyse. Du Bois Arch. 1882. Suppl. Bd.
123. — — Über das Purkinjesche Phänomen und sein Fehlen auf der Fovea centralis. Centralbl. f. Phys. 1896. Nr. 1. S. 1.
124. — — Über das Sehen der total farbenblinden Netzhautzone. Centralbl. f. Phys. X. 1897. S. 745.
125. — — Über die Farbenblindheit der Netzhautperipherie. Zeitschr. f. Psych. Bd. XV. S. 247. 1897.
126. — — Über die Abhängigkeit der Dämmerungswerte vom Adaptationsgrade. Zeitschr. f. Psych. u. Phys. d. S. O. Bd. XXV. S. 225. 1901.
127. Parinaud, H., Revue scientif. II. 1893. S. 134. IV. 1895. S. 709.
128. Plateau, Über einige Eigenschaften der vom Lichte auf das Gesichtsorgan hervorgebrachten Eindrücke. Pogg. Ann. Bd. 20. 1829. S. 304 u. 453.
129. Polimanti, Über die sogenannte Flimmerphotometrie. Zeitschr. f. Psych. u. Phys. d. S. O. Bd. XIX. 1897. S. 263.
130. Rivers, Photometry of coloured papers. Journ. of physiol. Bd. 22. S. 137. 1897.
131. Rood, O. N., On a photometric method which is independent of colour. Am. Journ. of Science. 1893. S. 173.
132. Schenk, F., Über intermittierende Netzhautreizung. 1. Mitth. Pflügers Arch. Bd. 64. S. 607. 1896.

133. Stegmann, R., Über die Abhängigkeit der Dämmerungswerte vom Adaptationsgrade. Diss. Freiburg. 1901.
134. Tonn, E., Über die Gültigkeit von Newtons Farbenmischungsgesetz. Zeitschr. f. Psych. und Phys. d. S. O. Bd. VII. 1894. p. 279.

A. Über die relative Helligkeit verschiedenfarbiger Lichter im helladaptierten und im dunkeladaptierten Auge.

Purkinjesches Phänomen. Den Ausgangspunkt der zahlreichen einschlägigen Untersuchungen bildete die Beobachtung Purkinjes (74, S. 109), dass verschiedenfarbige Objekte, speziell rote und blaue, bei Wechsel der Gesamtbeleuchtung, so auch in der Dämmerung, eine sehr ungleiche Veränderung ihrer Helligkeit erfahren. Beispielsweise erscheint bei Abdunkeln des Beobachtungszimmers ein bisher deutlich helleres Rot nunmehr dunkler, schliesslich schwarz gegenüber dem heller, schliesslich hellgrau werdenden Blau. Diese grundlegend wichtige Erscheinung wird bekanntlich als Purkinjesches Phänomen bezeichnet.

Dove (32), Grailich (38), Aubert (2, S. 126) und Basevi (113) haben diese Erscheinung an Pigmentlichtern, Helmholtz (116, I. A., § 21, II. A., S. 428) und E. Albert (112) an Spektrallichtern weiter verfolgt, das Licht kürzerer Wellenlänge als das bei verminderter Beleuchtung relativ heller werdende bezeichnet und das Phänomen als einfachen Effekt der Änderung der Lichtintensität gedeutet.

Macé de Lépinay und Nicati (120, 121) machten die Angabe, dass bei Vergleich von Strahlungen unter 517 $m\mu$ kein Purkinjesches Phänomen zu beobachten sei, während dasselbe bei den weniger brechbaren Lichtern und (obzwar schwächer) auch beim Vergleich relativ hoher Intensitätsstufen auftrete. Während A. König (55, S. 318) sich der letzteren Angabe anschloss, konstatierten E. Brodhun (sog. grünblind) (114, 118) und Ritter (sog. rotblind) für sich eine obere Intensitätsgrenze jener Erscheinung.

Herings systematische Studien über das Purkinjesche Phänomen, durch welche er die „Weissvalenz“ (vgl. später) sog. farbiger Pigment- und Spektrallichter für das absolut dunkeladaptierte Auge bestimmte, datieren in das Jahr 1882 zurück (42, S. 19; 49, Vorbem.). Eine Gesamtdarstellung gab er 1895 (45). Hering erwies das Purkinjesche Phänomen als Effekt der momentanen oder dauernden Dunkeladaptation des Auges, während es durchweg als Wirkung der blossen Änderung der Lichtstärke betrachtet und die zugleich vorgenommene entscheidende Änderung des Adaptationszustandes gar nicht berücksichtigt, höchstens als Beseitigung von „Ermüdung“, als Vorsichtsmassregel zur „Erhöhung der Sicherheit und Genauigkeit der Beobachtung“ aufgefasst worden war (speziell bei Helmholtz, J. v. Kries (122, S. 82—83), Macé de Lépinay und Nicati, König, Brodhun, Tonn).

Durch Herings Darlegung war für die weitere Untersuchung dieser und verwandter Fragen eine ganz neue Basis geschaffen und die Forderung einer prinzipiellen und praktischen Sonderung des physiologischen Adaptationsfaktors und des physikalischen Intensitätsfaktors gestellt. In seiner Untersuchung des Purkinjeschen Phänomens erreichte Hering die gesonderte Änderung der Intensität des farbigen Lichtes und der Gesamtbeleuchtung im Beobachtungsraume, damit des Adaptationszustandes des Untersuchers, durch die Benützung von zwei Zimmern und Verwendung von Ausschnitten in der Verbindungsthüre (Doppelzimmeranordnung). Es ergab sich dabei, dass das Purkinjesche Phänomen — bestehend in Sättigungsminderung und Änderung der relativen Helligkeit — im helladaptierten Auge durch Intensitätswechsel nicht erzeugbar ist, wohl aber durch Änderung des Erregbarkeitszustandes (Momentandunkeladaptation, mehr noch Dauerdunkeladaption) des Auges, selbst bei ungeminderter passender Intensität der Lichter. — Die Untersuchung F. Hillebrands (49) über die verschiedene Verteilung der subjektiven Helligkeit im Spektrum für das farbigsehende Hellauge und für das innerhalb gewisser Intensitätsgrenzen farblossehende Dunkelauge stellt zugleich ein systematisches Studium des Purkinjeschen Phänomens dar: auf dieselbe soll gleich später eingegangen werden, ebenso auf die Abhandlung von A. König über die Helligkeitsverteilung im Spektrum auf recht verschiedenen „Intensitätsstufen“ (55).

Nach Herings grundlegender Darstellung hat A. König (119) nochmals die in Rede stehende Erscheinung auf einem Felde von 1,06 mm oder 4° untersucht, wobei er jedoch den Intensitätswechsel noch als wesentlich betrachtete. Er kam bei Prüfung von 105 Paaren spektraler Lichter zwischen 560 mμ und 427 mμ zu dem Resultate, dass beim Farbentüchtigen, ebenso beim sogenannten Grünblinden, für gewisse Kombinationen die Helligkeitsgleichheit für das dunkeladaptierte Auge (bei verminderter Lichtstärke) angenähert bestehen bleibt, für andere (Wellenlänge beider unter 470 mμ, aber auch schon 500 und 420, 490 und 430 u. s. w.) nicht das Licht geringerer Wellenlänge, sondern jenes grösserer Wellenlänge heller wird (sogen. Umkehrung des Purkinjeschen Phänomens).

Während Charpentier (24), J. v. Kries (103 u. 123) und W. Koster (56, S. 12 u. 19) die besprochene Erscheinung noch ausschliesslich oder wesentlich als Intensitätseffekt betrachteten, erklärte es Parinaud, allerdings ohne genauere eigene Untersuchung, als Adaptationsphänomen (70, S. 253).

Bezüglich des Verhaltens der verschiedenen Netzhautteile im momentan oder dauernd dunkeladaptierten Auge hat Parinaud (69, S. 241, 127; 70) und später J. v. Kries (103; spez. 123 u. 57, S. 85; 104) die Angabe gemacht, dass das Purkinjesche Phänomen im Netzhautcentrum (auf etwa 0,9 mm nach J. v. Kries bei Anwendung eines Lichtpunktes als Fixationszeichen [104, S. 127]) völlig fehle. Hering (45, S. 535) hingegen

konstatierte einen allerdings erheblichen, doch nur graduellen Unterschied zu Gunsten des indirekten Sehens; zugleich betonte er, dass allzukleine, punktförmige Felder zur Beobachtung der Erscheinung allerdings nicht geeignet sind (99, S. 112 Anm.), wie auch die auf solchen hergestellten „Gleichungen" stets recht mangelhaft seien (98, S. 410). Auch W. Koster (56, S. 12) (Feldgrösse 0,5 mm oder 1° 54′), F. D. Shermann (79) (Totalfeldgrösse 0,635 mm, Fixation der dunklen Scheidewand der beiden Farbenfelder), A. Tschermak (84, S. 321) (Feldgrösse 0,35 mm bei Anwendung eines schwarzen Fixationszeichens) haben das Purkinjesche Phänomen innerhalb des centralen, wohl stäbchenfreien Bezirkes ihrer Augen wahrnehmen können: Tschermak betonte den erheblich geringeren Grad im Vergleich zu der Erscheinungsweise im indirekten Sehen. — Die Frage nach individuellen Verschiedenheiten wird noch später gestreift werden. — Für Hemeralopen gab Parinand (68) Fehlen des Purkinjeschen Phänomens an; J. v. Kries (104, Kap. V) fand in einem solchen Falle bei schwacher Beleuchtung und längerem Lichtabschluss jene Erscheinung nur sehr gering.

Helligkeitsverteilung im Spektrum für das Hellauge und für das Dunkelauge. Die Verteilung der subjektiven Helligkeit in einem Spektrum, z. B. des Sonnenlichtes, wie sie für das helladaptierte Auge bei einer gewissen Intensitätsstufe besteht, ist zuerst von Fraunhofer (115) durch je gleichhelle Lichtmengen einer Öllampe messend charakterisiert worden: das Helligkeitsmaximum wurde um die Linie D (589 mμ) gefunden. Dieser Thatsache gegenüber fiel den Untersuchern des „farblosen Spektrums" (bei dunketadaptiertem Auge innerhalb gewisser Intensitätsgrenzen), speziell W. Kühne (59), Hering (seit 1882, 41, S. 35, 47, 48; 42, S. 19; 49, Vorbem.; 44, S. 571) und A. König (54, 55) die völlig veränderte Helligkeitsverteilung auf, die verhältnismässig mindere Helligkeit des langwelligen, die grössere des kurzwelligen Teiles und die Verschiebung des Maximums nach dem Gelbgrün. Die Richtung jener Helligkeitsänderungen war bereits durch die Beobachtung des Purkinjeschen Phänomens und des farblosen Intervalls an Pigmentlichtern angezeigt.

Das Verschwinden der Farbe unter den angegebenen Bedingungen benutzte Hering seit 1882 zur systematischen Feststellung der relativen farblosen Helligkeit von Pigment-, Glas- und Spektrallichtern, unter sich sowie mit gemischtem farblosen Lichte verglichen: diese farblosen Gleichungen wurden dann mit dem farbigsehenden Hellauge bei stärkerer Beleuchtung betrachtet, wobei sich die als Purkinjesches Phänomen bezeichneten Unterschiede ergaben.

Zur messenden Charakterisierung der relativen „Weissvalenzen"[1]) (für absolute oder vollendete Dunkeladaption) verwendete Hering neben dem

---

[1]) Unter Weissvalenz oder Weissreizwert versteht Hering das Vermögen eines bestimmten Lichtes unter den gegebenen Bedingungen (Adaptationszustand, Verhalten der Um-

Farbenkreisel und seinem Universalspektralapparate ein besonderes Polarisationsphotometer.

Auf Herings Veranlassung hat F. Hillebrand (49) die Weissvalenz farbiger Pigmentlichter durch Herstellung von farblosen Kreiselgleichungen für das absolut dunkeladaptierte Auge sowie durch Einreihen in eine Grauskala systematisch gemessen und mit dem Helligkeitsverhältnis für das farbigsehende Hellauge verglichen. Er hat ferner die Helligkeitsverteilung im Tageslicht bezw. Gaslichtspektrum durch die Intensitätsstufen eines bestimmten Vergleichslichtes (unzerlegtes, von Barytpapier reflektiertes Tageslicht) messend charakterisiert, einerseits bei voller Intenstiät für das farbigsehende Hellauge (heterochromatische Photometrie), andererseits bei verminderter Lichtstärke für das absolut dunkeladaptierte, farblossehende Auge (achromatische Photometrie). Die letzteren Gleichungen scheinen innerhalb des farblosen Intensitätsintervalls von der Lichtstärke an sich unabhängig zu sein (49, S. 95, vergl. Tschermak, 85, S. 580).

Hillebrand fand das Helligkeitsmaximum im ersteren Falle um 568 bezw. 578 mμ, im letzteren um 527 bezw. 537 mμ; der langwellige Teil des Spektrums hatte im letzteren Falle an relativer Helligkeit eingebüsst, der kurzwellige hingegen gewonnen.

Im Jahre 1891 hat A. König (55) (und E. Köttgen) — thatsächlich von absoluter oder wenigstens vorgeschrittener Dunkeladaptation ausgehend, ein Feld von 3,5^0 oder 0,9 mm benützend — die Helligkeitsverteilung im Spektrum für acht verschiedene „Intensitätsstufen" messend charakterisiert, indem er für jede Bestimmungsreihe das Vergleichslicht (535 $\mu\mu$ — für welches sich durch Dunkeladaptation die Empfindlichkeit gerade relativ sehr stark ändert! —) ungeändert liess und die einzelnen geprüften Lichter des Gaslichtspektrums variierte. Auf den oberen Stufen wurden demnach heterochromatische Helligkeitsgleichungen (s. solche für Farbentüchtige auch bei Königs Schüler Brodhun [7]), auf der tiefsten, der Reizschwelle nahen Stufe fast durchweg achromatische Gleichungen hergestellt. Die letztere Reihe (weniger die erste) ist mit den Bestimmungen Hillebrands vergleichbar

gebung) Weisserregung in bestimmtem Ausmasse zu veranlassen. Genauer gesagt: das Licht verstärkt in bestimmtem Masse die Weisskomponente in jenem Dauerprozesse, welcher dem persistierenden „Eigengrau der Netzhaut" zu Grunde liegt; es resultiert eine Erhellung dieses Grau. Dass jede farbige Empfindung eine gewisse Graulichkeit aufweist, sozusagen ein gewisses Grau (die „Nuance" bestimmend) in einem gewissen Ausmasse (die „Sättigung" bestimmend) beigemengt enthält, ist nicht eine spezielle Hypothese, sondern ein einfaches Ergebnis der Empfindungsanalyse, welches noch durch besondere Experimente, z. B. Sattererscheinen auch eines Spektrallichtes nach „Ermüdung" für die Gegenfarbe, gestützt wird. Die von Hering gezogene Folgerung, dass jedes Licht neben eventueller farbiger Valenz auch eine Weissvalenz besitze, also einen Doppeleffekt veranlasse, behält übrigens ihre Berechtigung unabhängig davon, welche Vorstellung man sich von der Natur des Weissprozesses macht; ist doch selbst im Young-Helmholtzschen Schema die den drei Elementarerregbarkeitskurven gemeinsame Fläche als hypothetische Kurve der Weissvalenzen im Spektrum zu bezeichnen.

und stimmt wesentlich damit überein. Es ergab sich nämlich, dass auf den verschiedenen Intensitätsstufen und bei dem jeweils bestehenden, verschiedenen Adaptationsstadium die Verteilung der subjektiven Helligkeit eine verschiedene war, indem von der obersten Bestimmungsreihe nach der untersten hin die langwelligen Lichter relativ an Helligkeit verloren, die kurzwelligen gewannen und das Maximum sich von etwa 605 mμ bis nach 530 mμ (umgerechnet auf gleichmässige Energieverteilung nach S. P. Langley 555 bezw. 505) verschob. Die angedeutete Komplikation physikalischer und physiologischer Bedingungen beeinträchtigt natürlich die Verwertbarkeit dieser Untersuchungen.

Dasselbe gilt von den Bestimmungen Tonns, welche — neben der bezüglichen Untersuchung Farbenblinder — für den Farbentüchtigen dasselbe Problem behandeln. Er verwendete sieben Intensitätsstufen, stellte Gleichungen her zwischen einzelnen Strahlungen des Gaslichtspektrums und dem von Magnesiumoxydpapier reflektierten unzerlegten Gaslichte und konstatierte, A. König bestätigend, bei abnehmender „Intensität", aber ohne Rücksicht auf den jeweiligen Adaptationszustand, eine Verschiebung des Maximums von etwa 600 bis etwa 527 (Linie E) — bei geringster Intensität und beträchtlicher Dunkeladaptation, sowie Abnahme der relativen Helligkeit im langwelligen, Zunahme im kurzwelligen Spektralteile.

Es sei ferner daran erinnert, dass Hering (44, S. 598 u. 601) zum Nachweis der wesentlichen Übereinstimmung zwischen dem Farblossehen des absolut dunkeladaptierten farbentüchtigen Auges und dem Totalfarbenblinden die messende Charakterisierung der Helligkeitsverteilung im „farblosen" Himmelslichtspektrum (verglichen mit unzerlegtem Himmelslichte) vornahm; die Kurve für Hering und jene für Pereles (Maximum um 520) haben wesentlich denselben Verlauf wie die vorher von F. Hillebrand bestimmte, welcher auch die Kurven von A. König und E. Tonn (auf tiefster Intensitätsstufe und bei thatsächlich dunkeladaptiertem Auge) im wesentlichen gleichen. Auch die Reizschwellenverteilung für das thatsächlich dunkeladaptierte Auge (Rählmann [75], Charpentier [19], Abney und Festing [1], König [54, 55], Parinaud [70], Haycraft [39]) fügt sich dieser wesentlichen Übereinstimmung, obzwar die Angaben der einzelnen Autoren in Ermangelung von Daten über die Energieverteilung in den verschiedenen benützten Spektren nicht unmittelbar vergleichbar sind.

Eine Charakterisierung der Helligkeitsverteilung im Auerlichtspektrum für das Centrum, für eine mässig excentrische und eine stark excentrische, unter den gewählten Umständen farblossehende Netzhautstelle des helladaptierten Auges (die letztere Reihe noch verglichen mit Gleichungen für dieselbe Netzhautstelle in verschiedenen Stadien von Dunkeladaptation) hat Tschermak (85) ausgeführt. Auf diese Beobachtungen und die zum Teil analogen von J. v. Kries (124, 125), sowie auf die jüngsten Angaben von

Lamansky, Angaben über das Verh. der „Helligkeit" der einzelnen Theile eines Flintglasspektrums der Sonne „in absoluten Maass"

Glan, Ein Grundgesetz der Complementärfarben.
Pf. A. Bd. 39. 1886. S. 53–61.
Best. der „Helligkeitsvertheilung im Flintglasspektrum einer Petroleumlampe „in absol. Maass"

B	363,6
C	228,7
D	100
E	42
F	13,1
G	3,5

A. Pflüger, Über die Farbenempfindlichkeit des Auges.
Ann. d. Phys. (4) IX. 1. S. 185.
bestimmte die Energievertheilg im Spektrum der Nernstlampe. Bei Berücksichtigung derselben fand er die Reizschwelle für das offenbar d ad Auge

maximal für 525–495 $\mu\mu$
im „Roth" 33 000 × Schwelle für „Grün" 525–495
im „Violett" 60 ×

A. Pf. betont den grossen Wechsel der Schwellenwerthe für dasselbe Auge – ohne jede Bezugnahme auf den Ad Zustand! – sowie die grossen individuellen Verschiedenheiten.

T. C. Porter, Contributions to the study of „Flicker".
Proc. Roy. Soc. LXX. 463, p. 313. 1902.
Curve der spektralen Flimmerwerthe (offenbar für helladapt. A.) stimmt mit der von Vierordt gegebenen „Curve der Helligkeitsvertheilung".

Stegmann (und Nagel) (133, 126) wird gleich später eingegangen werden.

Endlich sei hier noch der sogen. Flimmerphotometrie gedacht, deren sich nach dem Vorgange von Plateau (128), später O. N. Rood (131), dann Schenck (131), Haycraft (39), Rivers (130) zur Charakterisierung der Helligkeit farbiger Lichter (Intermittenzhelligkeit nach Schenck) bedienten. Es handelt sich dabei entweder um Bestimmung derjenigen Intensitätsstufe eines farblosen Vergleichslichtes, welche abwechselnd mit dem geprüften farbigen Lichte einwirkend schon bei der geringsten Intermittenzzahl kein Flimmern mehr bemerken lässt — oder um Ermittelung der Intermittenzzahl, bei welcher das abwechselnd einfallende und abgeblendete Prüflicht eben einen kontinuierlichen Eindruck erzeugt (Haycraft, Rivers). Die von Haycraft nach dem letzteren Verfahren ermittelten Werte zeigen bei hoher Intensität des Gaslichtspektrums und helladaptiertem Auge das Maximum um 600, bei niedriger und dunkeladaptiertem Auge um 535.

Polimanti (129) hat auf Anregung von J. v. Kries eine Untersuchung nach der ersteren Methode (central betrachtetes kleines Loch auf weissem Grunde, intermittierend von Weiss gedeckt; Lichter des Gaslichtspektrums abgestuft) unternommen und die Verteilung der centralen[1]) Flimmerwerte des Hellauges mit der Helligkeitsverteilung in dem stark indirekt vom Hellauge farblos gesehenen Spektrum (sogen. Peripheriewerte nach J. v. Kries) wesentlich übereinstimmend befunden; für sein Auge Maximum um 589 (weiteres s. Kap. V).

Bezüglich der Untersuchungen über die Helligkeitsverteilung im Spektrum bei Farbenblinden, wie sie von Brodhun (114), F. Hillebrand (49), König (55), Hering (44), Kries und Nagel (58) vorgenommen wurden, wird gesondert zu berichten sein (Kap. V).

B. Über die relative Helligkeit verschiedenfarbiger Lichter auf verschiedenen Netzhautteilen.

Hering (117) hat die bereits bekannte relative Verdunkelung roter Lichter beim Übergang in das indirekte Sehen — durch Vergleich eines urroten Binärgemisches aus 656 + 470 mit Tageslicht — bestätigt und das gegensätzliche Verhalten für grünes Spektrallicht (505) entdeckt. Während der Beobachtung trat Momentandunkeladaptation des Hellauges ein. — Hess (46, S. 1 u. 63) stellte ein Gleiches fest bei Vergleich von rotem und grünem Pigmentlicht auf grauem Grunde (schwache Tagesbeleuchtung) und einigermassen dunkeladaptiertem Auge. — Tschermak (85, Kap. II A) untersuchte die Frage der Helligkeitsänderung verschiedenfarbiger Lichter nach der Netzhautperipherie

[1]) Bei central eben aufhörendem Flimmern bestand dieses excentrisch z. B. 15° noch fort, deutlich für kurzwellige Strahlungen.

hin systematisch für das Hellauge, indem er bei Doppelzimmeranordnung central (kompliziert durch Makulaabsorption!), mässig excentrisch und extramàkular (5° 52′) heterochromatische, endlich stark excentrisch (38,5°) scheinbar farblose Helligkeitsgleichungen herstellte zwischen einzelnen Strahlungen eines Auerlicht-. bezw. Bogenlichtspektrums und einem von Tageslicht beleuchteten weissen Grund. Es ergab sich beim Übergange in das indirekte Sehen bis zum schliesslichen Farbloserscheinen relative Helligkeitsabnahme für die Lichter von 693—525, ein Indifferenzpunkt zwischen 525 und 516[1]), relative Helligkeitszunahme für 516—466.

Im dunkeladaptiertem Auge zeigen, wie schon aus obigem erhellt, verschiedenenfarbige Lichter gleichfalls eine Änderung der relativen Helligkeit beim Übergange von direkter zu indirekter Betrachtung und zwar in der Richtung des Purkinjeschen Phänomens. Gelbgrünes Licht, z. B. 525, bietet hiebei auf einer central farbig erscheinenden Intensitätsstufe mit Tageslicht verglichen beim schliesslichen Farbloserscheinen nicht Abnahme, bezw. Indifferenz, wie im helladaptierten Auge, sondern Zunahme der relativen Helligkeit. Hering (45, S. 535) hat in seiner Untersuchung des Purkinjeschen Phänomens darauf hingewiesen, dass für das momentan, bezw. dauernd dunkeladaptierte Auge direkt noch gleich hell erscheinende farbige Lichter bei indirekter Betrachtung sehr ungleich werden; „Purkinjesches Phänomen ohne Veränderung der Lichtintensität bei Wechsel der Sehfeldstellen".

IV. Über die Bedeutung der Netzhautstelle (Feldgrösse) sowie der Lichtstärke und der Adaptation für farblose Mischungen und für optische Gleichungen Farbentüchtiger.

Litteratur:

135. Breuer, Über den Einfluss des Makulapigments auf Farbengleichungen. Zeitschr. f. Psych. u. Phys. d. S. O. Bd. XIII. 1897. S. 464.
136. Ebbinghaus, Theorie des Farbensehens. Zeitschr. f. Psych. u. Phys. d. S. O. Bd. V. 1893. S. 145.
137. Frey, M. v. und Kries, J. v., Über die Mischung von Spektralfarben. Du Bois Arch. f. Phys. 1881. S. 336.
138. Hering, E., Über Newtons Gesetz der Farbenmischung. Lotos. N. F. Bd. 7. 1886. Auch sep.
139. — — Über den Einfluss der Macula lutea auf spektrale Farbengleichungen. Pflügers Arch. Bd. 54. S. 277. 1893.
140. König, A., Quantitative Bestimmungen an komplementären Spektralfarben. Berl. Sitzber. 30. Juli. 1896. S. 871.

1) Auf das vorübergehende Hellerwerden gewisser gelbgrüner Lichter während des Gelberscheinens in der unter den gewählten Bedingungen relativ rotgrünblinden Zone ist (85, S. 588) hingewiesen.

141. Kries, J. v. und Brauneck, Über einen Fundamentalsatz aus der Theorie der Gesichtsempfindungen. Du Bois Arch. f. Phys. 1885. S. 79.
142. Kries, J. v. und Nagel, W., Weitere Mitteilungen über die funktionelle Sonderstellung des Netzhautcentrums. Zeitschr. f. Psych. u. Phys. Bd. 23. 1900. S. 161.
143. Ladd-Franklin, Chr., Nature Vol. 48. 1893. S. 517 und Mind N. S. Bd. 2. S. 473. 1893. (Vgl. auch Vortrag auf d. internat. Psychologenkongress in Paris. 1893.)
144. Sachs, M., Über die spezifische Lichtabsorption des gelben Fleckes der Netzhaut. Pflügers Arch. Bd. 50. S. 574. 1891.

A. Über die Bedeutung der Netzhautstelle (Feldgrösse) oder Netzhautregion.

Die Bedeutung der Netzhautstelle, bezw. der Feldgrösse für farblose Mischungen und Gleichungen hat Hering (139) in systematischer Weise untersucht, nachdem bereits von Helmholtz (116, I. A., S. 301) und M. v. Frey und J. v. Kries (137) (speziell Forderung einer Strahlung kürzerer Wellenlänge zur farblosen Mischung mit einer gegebenen langwelligen im indirekten Sehen) einschlägige Beobachtungen gemacht worden waren. Hering stellte — bei Momentandunkeladaptation während der Beobachtung — in erster Linie farblose Mischungen aus je zwei homogenen Lichtern auf einem Felde von bestimmter Grösse her und studierte deren Aussehen bei Grössenänderung oder bei Verlagerung des Fixationspunktes, also bei centraler und mässig excentrischer Betrachtung. Eine zunächst farblose Mischung von Spektralrot und Blaugrün wird bei Feldverkleinerung rötlich und dunkler, bei Feldvergrösserung grünlich und heller; eine für das direkte Sehen farblose Mischung bei indirekter Beobachtung grünlich und heller, im umgekehrten Falle rötlich und dunkler. Dies ergiebt sich schon simultan bei Verwendung eines Doppeldiaphragmas. Eine Mischung aus Gelbgrün und Violett wird bei Feldverkleinerung gelbgrün, bei Feldvergrösserung oder indirekter Betrachtung rosa; doch ist der Unterschied viel geringer als im ersteren Falle, für ein Blaugelbgemisch fehlt gewöhnlich eine deutliche Veränderung. Auf die lokale Verschiedenheit des Farbentons spektraler Lichter hatte Hering schon 1885 (41, S. 43) nachdrücklich aufmerksam gemacht; speziell auf den Übergang eines central bläulichgrünen Lichtes zu rein grün, gelbgrün, gelbweiss im indirekten Sehen. — Auf der anderen Seite fand Hering, dass farblose Gleichungen aus spektralen Lichtern sowohl für das helladaptierte als für das dunkeladaptierte Auge bei Feldvergrösserung über den centralen Bezirk hinaus, ebenso beim Übergang von direkter zu indirekter Betrachtung (oder simultaner mittelst Doppeldiaphragma) ungültig werden. Dabei wird in einer Gleichung zwischen Spektralrot mit Blaugrün und Gelb mit Blau die erstere Hälfte grün und heller, die andere bläulich bis lila und dunkler. Aber grösser ist der Unterschied bei Verwendung von Gelbgrün und Violett als zweites Paar, geringer für eine Gleichung zwischen diesem und einem Blaugelbgemisch. Bei vorgeschrittener Dunkeladaptation treten innerhalb gewisser Grenzen der Lichtstärke nur

Differenzen farbloser Helligkeit hervor. — Eine messende Vergleichsuntersuchung jener Differenzen während verschiedener Adaptationsstadien liegt noch nicht vor. — Auf die Deutung dieser Thatsachen seitens Hering als Effekte der Makulapigmentierung wird später einzugehen sein.

Das Verhalten von ebensolchen Gleichungen im extramakularen Gebiete bei Änderung der Netzhautstelle (Excentricität) oder bei Änderung der Feldgrösse ist neuerdings von Tschermak (85, Kap. II B, S. 570) untersucht worden, nachdem zuvor Hess (46) nach längerem Lichtabschlusse (behufs chromatischer Neutralstimmung, also bei gleichzeitiger nicht unerheblicher Dunkeladaptation) Gleichungen zwischen einer Mischung gegenfarbiger Pigmentlichter mit einem Graugrund im ganzen extramakularen Gebiete gültig befunden hatte. Ferner hatte sich J. v. Kries (125, S. 263) für die (wesentliche) Gültigkeit aller paracentralen spektralen Gliechungen für sämtliche periphere Partien ausgesprochen. Tschermak fand mit helladaptiertem Auge (bei Momentandunkeladaptation während der Beobachtung) für farblose spektrale Gleichungen im extramakularen Gebiete eine nicht erhebliche, doch deutliche und konstante Alteration bei Vergrösserung des Feldes peripherwärts; blosse Änderung der Excentricität ergab keine ganz deutlichen und sicheren Resultate. Die Ungleichheit an farbloser Helligkeit lag in derselben Richtung, wie sie Hering bei Feldvergrösserung über die centrale Partie hinaus, sowie beim Übergang von einer centralen zu einer mässig excentrischen, extramakularen Netzhautstelle gefunden hatte. — Im Zustande vorgeschrittener Dunkeladaptation konnte der genannte Beobachter hingegen keinen Einfluss der Feldgrösse auf farblose extramakulare Gleichungen wahrnehmen; J. v. Kries (125, S. 258 u. 259) hatte schon vorher angegeben, dass sich in diesem Zustande keine merkbare Differenz zwischen den paracentralen Teilen und den mehr oder weniger excentrischen finde.

Breuer (135) hat für farbige centrale (auf einem Feld von 1° Durchmesser) und „paracentrale“ (auf einem Felde von 3° Durchmesser in 3° Abstand vom Centrum, bei hellem Fxationszeichen) Tongleichungen, welche für das Auge dieses Beobachters nur sehr geringe Sättigungsdifferenzen aufweisen, die regionale quantitative Verschiedenheit messend bestimmt. Er arbeitete mit helladaptiertem Auge und benützte einerseits die Gelbgleichung 670 + 517 = 620 oder 589 oder 560 und fand im indirekten Sehen, wo die Mischhälfte zunächst grün erschien, eine Reduktion der relativen Intensität des Grünlichtes von 1 auf 0,81—0,71 notwendig, für die Blaugleichung 517 + 460,8 = 510 oder 500 oder 490 ergab sich im indirekten Sehen, wo die Mischhälfte zunächst zu blau erschien (ebensolches bei 490 + 460 = 480), Reduktion von 1 auf 0,79—0,63 relativ (zum Grünlicht), auf etwa 0,54 absolut. Breuer bezieht diese Differenzen, zumal angesichts der wesentlichen Übereinstimmung mit den Messungen Sachs (144) an ausgeschnittenen Netzhäuten, auf die Absorption seitens des Makulapigments.

N L M G geprüft an Pigmentbildern
von Maxwell, Aubert;
an Spektralbildern
bereits von Maxwell, J. J. Müller
Bez. Hering, vgl. auch dessen Bemerkungen
Pfl. A. Bd. 41, 1887. S. 41–46.

B. Über die Bedeutung der Lichtstärke und der Adaptation für farbige und farblose centrale und extramakulare Gleichungen Farbentüchtiger.

Die dritte These von Newtons Lichtermischungsregeln, nämlich das Fortbestehen optischer Gleichungen bei gleichmässiger Änderung der Lichtstärke, ist von Maxwell und Aubert (2, § 86, S. 177) am Farbenkreisel, von J. v. Kries und Brauneck (141) an farbigen wie farblosen Spektralmischungen, von Hering (41, S. 5—9, 138 spez. § 27, S. 36—39) in umfassender Weise an Pigmentlichtern und homogenen Strahlungen geprüft und erhärtet worden. Hering erwies auch die Unabhängigkeit der Gleichungen von der lokalen Adaptation oder sogen. Ermüdung der einzelnen Netzhautstellen. — Bezüglich farbiger Gleichungen hatte schon 1882 E. Albert (112) eine Farbenungleichheit in einer unvollkommenen gelben Gleichung und einer solchen blauen zwischen einem homogenen Licht und einem Binärgemisch bei „Intensitäts“minderung angegeben; Rötlichwerden der ersten, Grünlichwerden der zweiten Hälfte. A. König fand 1887 (118, S. 317) in einer ebensolchen Gelbgleichung 670 + 590 = 630 — deren Unvollkommenheit oder Charakter als blosse „Tongleichung“ infolge einer unvermeidlichen Sättigungsdifferenz zu Ungunsten der Mischhälfte Hering nachdrücklich betont hat (41, S. 36) — ebenso in der Gleichung 670 + 520 = 580 + 475 bei „verminderter Lichtstärke“ einen deutlicheren Sättigungsunterschied zu Ungunsten der ersteren Gleichungshälfte, während 470 + 430 = 460 bestehen blieb. — E. Tonn (134) bemerkte ferner an thatsächlich orangefarbenen Gleichungen zwischen einem spektralen Rotgrüngemisch und dem vom Magnesiumoxydpapier reflektierten Gaslichte bei „Steigerung der Lichtstärke“ Gelblicher-, bei „Minderung“ Bläulicherwerden des Gemisches, bei Anwendung eines Gelbgrün-Violettgemisches blieb die Gleichung hingegen bestehen.

Auch J. v. Kries (103; 57, S. 92 u. 121; 104, S. 108) fand (damals anscheinend noch bei verdunkeltem Zimmer beobachtend [vergl. 58, S. 4]) bei indirektem Sehen — Feld 1,5—1,8° in 2°—2,5° Abstand — eine gelbe Tongleichung zwischen Rotgrün und Gelb bei „Intensitätsminderung“ nicht mehr gültig — das Binärgemisch blasser und heller[1]); bei Betrachtung mit dem Netzhautcentrum bis etwa 2° Excentricität fehle diese Alteration. — Bei einer späteren Untersuchung nach der Bunsen-Lummerschen Fleckmethode (Centralfeld 0,5°, Ringfeld 2° Durchmesser) fand J. v. Kries (142, S. 177; Kap. IV) die Tongleichung 670,6 + 535 = 589 für das centrale Sehen bei centraler Fixation sowohl für sein helladaptiertes als sein dunkeladaptiertes

[1]) „Ich kann etwas anderes als das Hellerwerden und stärkere Ablassen des Gemisches nicht konstatieren“ (57, S. 102, Anm.).

Auge (nach 2—10′ Lichtabschluss) gültig und erklärte dieselbe für einen centralen Bezirk als vom Adaptationszustande unabhängig.

Für farblose Gleichungen behaupteten zuerst Chr. Ladd-Franklin (143), dann Ebbinghaus (136, S. 173) eine Abhängigkeit von der „Lichtstärke": Hellerwerden einer Rotgrünmischung gegenüber einer Blaugelbmischung bei „Abschwächung". — Hering (139) hat demgegenüber auf die Abhängigkeit der optischen Gleichungen von der Netzhautstelle bezw. Feldgrösse hingewiesen und das Aufhören von Scheingleichungen (erreicht durch Lokaladaptation) auf grossen Feldern bei Intensitätsänderung demonstriert. Er führte auch neue Versuchsreihen aus, welche die Unabhängigkeit wirklicher, einwandsfreier Gleichungen, im direkten wie indirekten Sehen, von der Lichtstärke und der Lokaladaptation der einzelnen Netzhautstellen ergaben.

Demgegenüber hat J. v. Kries (57, S. 93 u. 104, S. 108 — damals anscheinend noch bei verdunkeltem Zimmer beobachtend [vergl. 58, S. 4]) für farblose Gleichungen im indirekten Sehen (2—3° Feld in 2—3° Abstand) eine Abhängigkeit von der „Intensität" behauptet. Nämlich Hellerwerden einer Rotgrünmischung, Dunklerwerden einer Gelbgrünviolettmischung gegenüber unzerlegtem Weiss, was „zwar in gewissem Masse durch Abschwächung der Lichter immer hervortritt, in vollem Masse aber nur, wenn man die Verdunkelung sehr weit treibt und den Adaptationswechsel des Auges zu Hilfe nimmt".

Desgleichen hat A. König 1896 (140) mit helladaptiertem Auge (und Momentandunkeladaptation) und auf hoher Intensitätsstufe farblose Gleichungen hergestellt auf einem 3° oder 0,78 mm unterhalb des Fixationspunktes gelegenen Felde von $1^1/_3$° oder 0,35 mm Durchmesser zwischen je einem von 11 Paaren spektraler Lichter und dem Lichte eines Auerbrenner (nach Passieren einer Lösung von Kupferoxydammoniak und von Eosin); er fand eine erhebliche Diskrepanz zwischen diesen Gleichungen und den „bei sehr verminderter Intensität" und thatsächlicher Dunkeladaptation vorgenommenen Bestimmungen der relativen Weissvalenz der einzelnen Komponenten.

Durch den Nachweis des Purkinjeschen Phänomens als eines Effektes der Gesamtdunkeladaptation des Sehorgans, nicht aber der Lichtstärke an sich (Hering 1895) ergab sich die Frage nach einer eventuellen Bedeutung des Hell-Dunkeladaptationszustandes für die optischen Äquivalenzen und die Aufgabe einer möglichsten Sonderung des physikalischen Faktors und des physiologischen Momentes. Auf Anregung von Hering hat A. Tschermak (84) dieses Problem für farblose centrale wie mässig excentrische Gleichungen bearbeitet. Bezüglich der Änderung der Lichtstärke kam er zu dem Resultate, dass eine bei einem bestimmten Adaptationszustande auf einem bestimmten centralen oder excentrischen Felde (4° 13′ oder 1,1 mm, 1° 12′ oder 0,32 mm) hergestellte farblose Gleichung innerhalb der verfüg-

baren Intensitätsgrössen, speziell auch auf einer der jeweiligen Reizschwelle naheliegenden Stufe, gültig bleibt, sofern nur für mögliches Konstanterhalten des Adaptationszustandes Sorge getragen wird. Hingegen wird eine solche Gleichung sowohl innerhalb des stäbchenfreien Bezirkes, als — in erheblich höherem Grade — ausserhalb desselben ungültig bei Änderung des Gesamtadaptationszustandes des Sehorganes im Sinne von Hell- oder Dunkeladaptation, selbst bei Gleichbleiben der Lichtstärke. In einer farblosen Gleichung zwischen einem Rotgrüngemisch und einem Blaugelbgemisch, ebenso in einer solchen zwischen einem Blaugelbgemisch und einem Gelbgrünviolettgemisch wird bei Dunkeladaptation die erstgenannte Hälfte heller.

Diese von Tschermak messend (bis zu 50% Korrektur) verfolgte Alteration wächst nach der Aubertschen Adaptationsregel anfangs rascher, dann immer langsamer bis zu einem Maximum. Der Newtonsche Satz von der Unabhängigkeit der optischen Gleichungen von der Lichtstärke an sich wird dadurch bestätigt. Hingegen erscheinen die Störungen farbloser und wohl auch farbiger Gleichungen Farbentüchtiger, wie sie von früheren Untersuchern beobachtet und ohne Rücksichtnahme auf die Hell-Dunkeladaptation des Auges der blossen Intensitätsänderung zugeschrieben worden sind, als bedingt durch die gleichzeitig vorgenommene Änderung des Adaptationszustandes, soweit nicht etwa die von Hering klargelegten methodischen Fehler mitunterlaufen.

In letzter Zeit hat J. v. Kries (142, Kap. IV) unter Verwendung der Bunsen-Lummerschen Fleckmethode (Centralfeld von 0,5°, Ringfeld von 2° Durchmesser) die farblose Gleichung: Rot + Grün = Gelb + Blau bei centraler Fixation sowohl für sein helladaptiertes als sein dunkeladaptiertes Auge (nach 2—10 h Lichtabschluss) gültig befunden und für jenen centralen Bezirk als vom Adaptationszustande unabhängig erklärt.

Das Verhalten der optischen Gleichungen bei den beiden Gruppen Farbentüchtiger, welche auch bezüglich der Geschwindigkeit und Grösse der Dunkeladaptation verschieden zu sein scheinen (vergl. Kap. I), ist bisher noch nicht vergleichend untersucht worden.

C. Über die relative Helligkeit sog. farbiger Lichter beim Farbloserscheinen im stark indirekten Sehen und die Bedeutung von Lichtstärke und Adaptation für sog. farblose Helligkeitsgleichungen dortselbst.

C. Hess (46) hat zur Einstellung gegenfarbiger Lichter auf angenäherte Gleichheit der Weissvalenz, die er als eine Bedingung für die Übereinstimmung der perimetrischen Rot- und Grün-, bezw. Gelb- und Blaugrenzen erwies, das Verschwinden der Farbigkeit und das Verfliessen mit gewissen

Graustufen im stark indirekten Sehen verwertet. Sein Auge befand sich dabei — behufs chromatischer Neutralstimmung — in einem Stadium vorgeschrittener Dunkeladaptation.

Später hat J. v. Kries (124, 125) für sein helladaptiertes Auge die relative Helligkeitsverteilung in einem Gaslichtspektrum bei Farbloserscheinen der einzelnen abgestuften Strahlungen (680 bis 513) auf kleinem Felde in stark indirektem Sehen, verglichen mit einem von Tageslicht bestrahlten weissen Schirm, messend charakterisiert (Bunsen-Lummersche Fleckmethode). Die Kurve dieser von ihm so genannten „Peripheriewerte" zeigt relativ hohe Werte im langwelligen Spektralteile, das Maximum um 624 (bis 589), relativ niedrige Werte im kurzwelligen Teile. J. v. Kries wies auf die Typenähnlichkeit mit der Helligkeitsverteilung in dem vom Hellauge central farbiggesehenen Spektrum hin, auf die weitgehende Übereinstimmung der für sein farbentüchtiges (vermutlich relativ gelbsichtiges) Auge ermittelten Wertreihe und der analogen für den sogen. Grünblinden Nagel und betonte den Unterschied gegenüber der Helligkeitsverteilung, in welcher dem dunkeladaptierten Auge innerhalb gewisser Intensitätsgrenzen ein Spektrum farblos erscheint (den von ihm so genannten „Dämmerungswerten"). — Der genannte Beobachter stellte auch zwischen farbigen Pigmentlichtern und einem farblosen Grunde in gleicher Weise sogen. farblose Helligkeitsgleichungen her. Dieselben waren sehr verschieden von den für einen Totalfarbenblinden gültigen Gleichungen.

Gleichzeitig mit seiner Untersuchung der von ihm so genannten „Flimmerwerte" hat Polimanti (129) auf Veranlassung von J. v. Kries die sogen. Peripheriewerte nach der oben angegebenen Methode für sein Auge ermittelt und die Reihe seiner sogen. Flimmerwerte mit jener der sogen. Peripheriewerte wesentlich übereinstimmend befunden, ebenso die beiden Beobachtungsreihen des sog. Grünblinden Nagel und jene des sog. Rotblinden Marx. Polimanti fand für sich von etwa 650 bis 589 höhere „Peripheriewerte" als J. v. Kries, von 589 bis 509 (Untersuchungsgrenze) niedrigere: das Maximum bei 589 gegen 624 bis 589. Auf diese Verschiedenheit sowie auf die Bestimmungen an den Farbenblinden wird später zurückzukommen sein (Kapitel V).

Tschermak (85, S. 567) hat für das Hellauge zwischen einer abgestuften Strahlung (693 bis 466) eines Auerlichtspektrums (Feld $1^0\ 4'$) und einem von Tageslicht beleuchteten weissen Schirm heterochromatische Helligkeitsgleichungen hergestellt für das Netzhautcentrum und für eine extramakulare farbigsehende Netzhautstelle von $5^0\ 52'$ Excentricität, sowie sogen. farblose für eine $38{,}5^0$ excentrische Stelle, an welcher unter den gegebenen Bedingungen Farben nicht mehr wahrgenommen wurden. (Der bekanntlich bloss relative Charakter der sogen. Farbenblindheit im indirekten Sehen wurde durch besondere Versuche erhärtet.) Er konstatierte beim Vergleich der drei Reihen

pro Relativität:

Charpentier, Ann. de phys. 1877. Nr. 6. p. 894–945.
Landolt, Gaz. méd. de Paris. 1877. Nr. 31.

die früher (Kap. III) erwähnte Änderung der Helligkeitsverteilung (Maximum um 589): die dritte Reihe bestätigt im wesentlichen die bezüglichen Angaben von J. v. Kries.

Tschermak (85, Kap. III) prüfte weiterhin jene sogen. farblosen Helligkeitsgleichungen unter möglichster Sonderung von Intensitätswechsel und Änderung des Adaptationszustandes. Schon lange vorher (1881) hatte übrigens Biedermann auf Herings Veranlassung die Gültigkeit des Newtonschen Lichtermischungsgesetzes auch für die periphere, relativ rotgrünblinde Netzhautregion mittelst eines besonderen Farbenkreisels festgestellt (Hering [41, S. 43]). Andererseits hatte schon F. Hillebrand (1889) (49, S. 95) (wofür sich auch Tschermak ausspricht [85, S. 580]) die Unabhängigkeit der für das dunkeladaptierte Auge farblosen Helligkeitsgleichungen zwischen sogen. farbigen Lichtern von der Lichtstärke innerhalb des farblosen Intervalls angegeben. Tschermak fand nun in seinen Versuchen gleichfalls die Lichtstärke innerhalb der verwandten Stufen einflusslos, hingegen Abhängigkeit vom Adaptationszustande.

So zeigen bei Dunkeladaptation — im Sinne des Purkinjeschen Phänomens — die Lichter der langwelligen Spektralhälfte (z. B. 682 und 589) eine relative Verdunkelung gegenüber dem Tageslichte, die Lichter der kurzwelligen Hälfte (z. B. 535 und 492) eine Erhellung, das Maximum verschiebt sich nach dem Gelbgrün hin. Das Ausmass dieser in den verschiedenen Stadien der Dunkeladaptation gleichsinnig bleibenden Alteration folgt der Aubertschen Regel, wie u. a. auch an einer von einem gewissen Dunkeladaptationsstadium ab farblos erscheinenden Helligkeitsgleichung (Feldgrösse von 4° 10′ in 8° Excentricität) zwischen Licht von etwa 495 und einem farblosen Gemische aus gelber und blauer Strahlung messend dargethan wird.

Endlich ist einer Untersuchung von R. Stegmann (133), (vergl. auch J. v. Kries [126]) über die Bedeutung der Lichtabschlussdauer für mässig excentrische farblose Helligkeitsgleichungen zwischen sogen. farbigen Lichtern zu gedenken. Es wurden nach der Bunsen-Lummerschen Fleckmethode Gleichungen hergestellt zwischen dem abgestuften Lichte von 640 bezw. 480 und einer Scheibe aus blaugrünem bezw. orangefarbenem Papier (beleuchtet durch eine geeignete Absorptionsflüssigkeit mit einem Auerbrenner), deren für jede Versuchsreihe fixe Beleuchtung so gewählt war, dass jedesmal eben keine Farbe gesehen wurde. Von einem geeignet erachteten Ausgangspunkte aus wurde in bestimmten Intervallen die Gleichungsherstellung wiederholt. Als Fixationszeichen diente ein Glühlämpchen schwächster Rotglut. Der Fleck wurde das eine Mal in 20° (Fleckgrösse 4°), das andere Mal in 4° Excentricität (Fleckgrösse 2,5°) abgebildet. Es ergab sich, dass der genannte farbentüchtige Beobachter, ebenso der sogen. Grünblinde Nagel bei zunehmender Dauer des Lichtabschlusses nach der ersten Einstellung (nach 5—15′) ein bis zu einer gewissen Grenze wachsendes Plus (23—50 %) an

blaugrünem Lichte, bezw. Minus (21—45%) an orangefarbenem forderte. Bei grösserer Excentricität wurde durchweg eine andere Einstellung gemacht (etwas weniger Blaugrün) als bei geringerer (4°, wohl noch intramakular). Die Alteration bestand an beiden Stellen in etwa gleichem Masse, obwohl die sogen. paracentrale wohl noch in das relativ stäbchenärmere (anscheinend purpurarme Areal fällt. — J. v. Kries ist entgegen F. Hillebrand und Tschermak geneigt anzunehmen, dass jene von Stegmann und Nagel angegebene dem Purkinjeschen Phänomen entgegengesetzte Änderungsweise bei sehr geringer Intensität (wenigstens nach einer gewissen Dauer des Lichtabschlusses: 5—15′) zu beobachten sei, hingegen bei höherer Lichtstärke das Helligkeitsverhältnis farblos erscheinender sogen. farbiger Lichter sich mit der Dauer des Lichtabschlusses bezw. mit fortschreitender Dunkeladaptation im Sinne des Purkinjeschen Phänomens ändere. Das letztere hat Tschermak[1]) (85) in Analogie zu allen Beobachtern des Purkinjeschen Phänomens für sein Auge angegeben, ferner die Unabhängigkeit farbloser Helligkeitsgleichungen im stark indirekten Sehen von der Lichtstärke (bei möglichst konstant erhaltenem Adaptationszustande) bis nahe zur Reizschwelle herab konstatiert (vgl. F. Hillebrand [49, S. 79]). Angesichts jener bisher isoliert dastehenden Angaben von Stegmann und Nagel — höchstens liesse sich vielleicht eine Beziehung zu einer Beobachtung von Aubert (2, S. 38) (vergl. Kap. I) annehmen — sei nochmals an die von Hering erwiesene Übereinstimmung der Gleichungen des absolut dunkeladaptierten Auges des Farbentüchtigen mit den (anscheinend von der Dunkeladaptation überhaupt unabhängigen) Gleichungen des helladaptierten Totalfarbenblinden erinnert (s. weiteres im II. Teile).

V. Über die Hell-Dunkeladaptation und die optischen Gleichungen Farbenblinder.

Litteratur:

145. Becker, O., Ein Fall von angeborener einseitiger totaler Farbenblindheit. Arch. f. O. Bd. 25. II. S. 205. 1879.
146. Brodhun, E., Die Gültigkeit des Newtonschen Farbenmischungsgesetzes bei dem sog. grünblinden Farbensystem. Zeitschr. f. Psych. u. Phys. d. S. O. Bd. V. S. 323. 1893.

---

[1]) Tschermaks Messungen auf S. 584 beziehen sich, wie dort genau angegeben, auf den Vergleich von isolierten Spektrallichtern mit unzerlegtem Tageslichte (1° 4′ Feldgrösse in 38,5° Excentricität), jene auf Seite 582 auf den Vergleich von Spektrallicht um 495 mit einem farblosen Gemische aus gelber und blauer Strahlung auf 4° 10′ in 8° Excentricität. „Zu Äquivalenzverhältnissen zwischen Gelb und Blau, wie sie den Dämmerungswerten zukommen, ist — wie J. v. Kries (126, S. 238) richtig bemerkt — Tschermak in jenen Versuchreihen überhaupt nicht gelangt“ — allerdings wohl nur deshalb, weil er gelbes und blaues Licht überhaupt nicht miteinander verglichen hat und der Vergleich von blauem und weissem Lichte (S. 584) sich nur bis 30′ Lichtabschluss erstreckt.

147. Donders, F. C., New researches on the system of coloursense. Onderz. Phys. Labor. d. Utrecht. Hoogeschool. 3. R. D. VII. Bl. 95. 1882 und: Noch einmal die Farbensysteme. Arch. f. O. Bd. 30. I. S. 15. 1884. Vgl. auch: Über Farbensysteme. Arch. f. O. Bd. 27. II. S. 155. 1881.
148. — — Farbengleichungen. Du Bois Arch. f. Phys. 1884. S. 518.
149. Fick, Ad., Zur Theorie der Farbenblindheit. Arb. a. d. phys. Lab. Würzburg. IV. Lief. S. 213. 1878. (Sep. Abdr. a. d. Verh. d. physik.-med. Ges.).
150. Hering, E., Zur Erklärung der Farbenblindheit aus der Theorie der Gegenfarben. Lotos. N. F. I. Bd. 1880. Auch sep.
161. — — Eine Vorrichtung zur Farbenmischung, zur Diagnose der Farbenblindheit und zur Untersuchung der Kontrasterscheinungen. Pflügers Arch. d. ges. Phys. Bd. 42. S. 119. 1888.
152. Hess, C., Über den Ablauf des Erregungsvorganges nach kurzdauernder Reizung des Sehorgans beim Normalen und beim total Farbenblinden. Arch. f. O. Bd. 51. II. S. 225. 1900.
153. — — Weitere Untersuchungen über totale Farbenblindheit. Zeitschr. f. Psych. u. Phys. d. S. O. Bd. 29. S. 99. 1902.
154. Hippel, A. v., Ein Fall von einseitiger kongenitaler Rot-Grünblindheit bei normalem Farbensinn des anderen Auges. Arch. f. O. Bd. 26. II. S. 176. 1880. Vgl. auch Arch. f. O. Bd. 27. III. S. 47. 1881.
155. — — Über totale angeborene Farbenblindheit. Aus Festschr. zur 200j. Jubelfeier der Univ. Halle. Berlin. 1894.
156. — — Über einen neuen Fall von totaler Farbenblindheit. Ber. üb. d. 27. Vers. d. Ophth. Ges. zu Heidelberg. 1898. S. 150.
157. König, A., Zur Kenntnis dichromatischer Farbensysteme. Wied. Ann. Bd. 22. S. 567 und Arch. f. O. Bd. 30. II. S. 155. 1884.
158. König, A. und Dieterici, C., Die Grundempfindungen und ihre Intensitätsverteilung im Spektrum. Berl. Sitzber. 29. Juli. 1886. S. 808.
159. — — Die Grundempfindungen in normalen und anomalen Farbensystemen und ihre Intensitätsverteilung im Spektrum. Zeitschr. f. Psych. u. Phys. d. S. O. Bd. IV. 1892. S. 241. Auch sep.
160. König, A., Bemerkungen über angeborene totale Farbenblindheit. Zeitschr. f. Psych. und Phys. d. S. O. Bd. XX. 1900. S. 425.
161. Kreyssig, F., Genuine totale Farbenblindheit. Mittl. a. d. ophth. Klinik. Tübingen. II. Bd. S. 332. 1890.
162. Kries, J. v., Über die Abhängigkeit centraler und peripherer Sehschärfe von der Lichtstärke. Centralbl. f. Physiol. Bd. 8. 1895. S. 694.
163. — — Über die dichromatischen Farbensysteme (partielle Farbenblindheit). Centralbl. f. Physiol. Bd. 10. S. 148. 1896.
164. — — Über Farbensysteme. Zeitschr. f. Psych. u. Phys. d. S. O. Bd. XIII. 1897. S. 241 und S. 473.
165. — — Über die anomalen trichromatischen Farbensysteme. Zeitschr. f. Psych. u. Phys. d. S. O. Bd. XIX. S. 63. 1899. (Vgl. Lotze. Diss. Freiburg. 1898).
166. Ladd-Franklin, Chr., Eine neue Theorie der Lichtempfindungen. Zeitschr. f. Psych. und Phys. d. S. O. Bd. IV. S. 211. 1892. Vgl. auch: On theories of light-sensation. Mind. N. S. II. Nr. 8. S. 473. 1893 und III. Nr. 9. S. 98. 1894.
167. Landolt, Achromatopsie totale. Arch. d'ophth. I. 1880. S. 114.
168. Magnus, H., Ein Fall von angeborener totaler Farbenblindheit. Centralbl. f. prakt. Augenheilk. IV. 1880. S. 373.
169. Nagel, W. A., Über flüssige Strahlenfilter. Biol. Centralbl. 18. Bd. S. 649. 1898.
170. — — Beiträge zur Diagnostik, Symptomatologie und Statistik der angeborenen Farbenblindheit. Arch. f. Augenheilk. 38. Bd. S. 31. 1898. Vgl. auch: Die Diagnose der praktisch wichtigen angeborenen Störungen des Farbensinnes. Wiesbaden 1899 und: Notiz über einige Modifikationen an meinem Apparate zur Diagnose der Farbenblindheit. Arch. f. Augenheilk. Bd. 41. I. S. 384. 1899.

171. Nagel, W. A., Einige Beobachtungen an einem Falle von totaler Farbenblindheit. Arch. f. Augenheilkunde. 44. Bd. S. 153. 1901. Vgl. auch: Erklärung zu der vorstehenden und einer früheren Arbeit von C. Hess über totale Farbenblindheit (152, 153). Zeitschr. f. Psych. u. Phys. d. S. O. Bd. XXIX. S. 118. 1902.
172. — — Über die dichromatischen Farbensysteme. Ber. üb. d. 30. Vers. d. Ophth. Ges. zu Heidelberg. 1901.
173. Pflüger, E., Beobachtungen an total Farbenblinden. Ber. üb. d. 27. Vers. d. Ophth. Ges. zu Heidelberg. 1898. S. 166.
174. Preyer, Über den Farben- und Temperatursinn mit besonderer Rücksicht auf Farbenblindheit. Pflügers Arch. Bd. 25. S. 31. 1881. Auch sep.
175. Rählmann, Diskussion zu W. A. Nagel [172]. Ber. üb. d. 30. Vers. d. Ophth. Ges. zu Heidelberg. 1901.
176. Rayleigh, Experiments on colour. Nature Vol. 24. S. 264. 1881 und Vol. 25. S. 64. 1882. Vgl. auch British Assoc. 2. Sept. 1881.
177. Rose, Über stehende Farbentäuschungen. Arch. f. Ophth. Bd. 7. II. S. 72. 1861.
178. Schöler und Uhthoff, cit. nach König [55] § 11. (1884, ausf. bei Wilbrand 1890).
179. Seebeck, A., Über den bei manchen Personen vorkommenden Mangel an Farbensinn. Pogg. Ann. Bd. 42. 1837. S. 177.
180. Siemerling und König, Arch. f. Psych. Bd. 21. S. 284. 1889.
181. Uhthoff, W., Ein Beitrag zur kongenitalen totalen Farbenblindheit. Ber. üb. d. 27. Vers. d. Ophth. Ges. zu Heidelberg. 1898. S. 158.
182. — — Ein Beitrag zur kongenitalen totalen Farbenblindheit. Zeitschr. f. Psych. u. Phys. d. S. O. Bd. XX. S. 326. 1899. (Ausführliches Litteraturverzeichnis).
183. — — Ein weiterer Beitrag zur angeborenen totalen Farbenblindheit. Zeitschr. f. Psych. und Phys. d. S. O. Bd. XXVII. S. 344. 1902.
184. van der Weyde, A. J., Die Systeme der Farbenblinden. Arch. f. Ophth. Bd. 28. II. S. 1. 1882 und Onderzock. phys. Lab. der Utrecht. Hoogeschool. R. 3. D. VII. 1882.

A. Beobachtungen an Partiell-Farbenblinden.

I. Das Newtonsche Lichtermischungsgesetz und die Helligkeitsverteilung im Spektrum bei Rotgrünblinden.

Abweichungen höheren Grades vom Newtonschen Lichtermischungsgesetze, nämlich Abhängigkeit der optischen Gleichungen von der Lichtstärke sind von zahlreichen Beobachtern für gewisse Partiellfarbenblinde, nämlich Rotgrünblinde, angegeben worden. Schon Preyer (174, S. 41) behauptete für den sogen. Rotblinden Eggers eine Verschiebung des sogen. neutralen, farbloserscheinenden Punktes, der „Trennungslinie“ zwischen b und F, nach dem kurzwelligen Ende hin bei erhöhter Lichtstärke (von 1 auf 1,6 : 512,8 nach 506,6); doch wurden die Beobachtungen entweder bei Sichtbarkeit des ganzen Spektrums oder zwar am isolierten „Trennungslichte“, jedoch ohne Rücksichtnahme auf die chromatische Stimmung des Auges ausgeführt. — Der sogen. rotblinde J. A. van Weyde (184) hat für sich und den sogen. grünblinden Escher folgende Angaben gemacht. Der scheinbare Neutralpunkt wandere bei „abnehmender Intensität“ nach dem langwelligen Spektrumende; die Gleichungen zwischen 620 + kurzwelliges Licht = langwelliges Licht ($\lambda < 620$) werden bei „Intensitätsminderung“ 5,6 : 1 bezw. 1 : 0,18 unrichtig, indem die Mischhälfte intensiver d. h. heller erscheine. Dasselbe gelte von der Glei-

Prüfung und Bestätigung des NLMP an Farbenblinden (wohl mit Pigmentbildern) zuerst durch Hochecker (cf. v. Hering Pfl. A. 41. S. 41.)

chung zwischen dem scheinbar neutralem Lichte (Weyde 487, Escher 501) und einer Mischung aus einer langwelligen und einer kurzwelligen Strahlung — Hellerwerden der homogenen Seite. Die Gleichungen 548 = 431 + 582 (bei J = 1,00; 0,88; 0,58; 0,25), 469 = 431 + 582 zeigen bei Intensitätsminderung Heller- und Mindersattwerden der homogenen Hälfte. Obzwar bei diesen Befunden, speziell bei den drei letzteren Gleichungen, der später erkannte Einfluss gleichzeitiger Dunkeladaptation mitgespielt haben konnte, gestatten doch methodische Bedenken, welche Hering (41, S. 5) dargelegt hat, keine weitere Verwertung bezw. Ausdeutung der Angaben van Weydes. — Später gab König (157) an, dass Gleichungen, hergestellt zwischen fixem Wolkenlicht (reflektiert von MgO-Papier) und einem dem Rotgrünblinden dazu passend erscheinenden homogenen Lichte (sogen. Rotblinde 491,7—497,6, sogen. Grünblinde 495,2—504,75) bei Intensitätssteigerung ungültig werden (bis zu einer gewissen Intensitätsstufe) und einer anfangs grösseren, dann immer geringeren Korrektur durch Einstellung eines Lichtes kürzerer Wellenlänge bedürfen (sog. Rotblinder I : J = 1 auf 80, 493,08 bis 487,46; sogen. Rotblinder II: J = 0,5 auf 5, 499,9 bis 492,44; sogen. Grünblinder: J = 1 auf 5, 504,75 bis 498,59). Dieselbe Angabe wiederholte König (118) später für zwei weitere sogen. Grünblinde, Waldeyer und Brodhun.

Preyer, J. A. v. d. Weyde, König kamen übrigens übereinstimmend zu dem Schlusse, dass nach der Lage des neutralen Punktes eine Trennung zwischen sogen. Rot- und sogen. Grünblinden nicht möglich sei, wie man sie nach der relativen Helligkeit und der Beschaffenheit der einander gleicherachteten roten, grünen und „grauen" Lichter seit Seebeck (179) vorzunehmen pflegt. Bekanntlich unterschied derselbe auf Grund detaillierter Untersuchung von 14 Personen mittelst Pigment- und Glaslichtern, auch am Spektrum, zwei Typen, von denen die „erste Klasse" (7) den sogen. Grünblinden, die „zweite Klasse" (7) den sogen. Rotblinden entspricht (nach Seebeck: Verkürzung des langwelligen Spektrumteiles, ein gelbliches Rot mit dunklem Grün oder Grau verwechselnd; Seebeck betrachtet auch die beiden Fälle bei Goethe [37, I. Bd., § 103] als Angehörige der zweiten Klasse).

Die Frage nach der Lage des sogen. neutralen Punktes hat erst Hering (1880 und 1885 [150, S. 25 und 41, S. 29—31) geklärt. Er zeigte, dass derselbe zwar unter den gewöhnlichen Beobachtungbedingungen für den sogen. Grünblinden mehr gegen b hin, für den sogen. Rotblinden mehr gegen F hin gelegen ist — analog wie das tonreine oder Urgrün für die beiden Typen der Farbentüchtigen (s. u.) —, und dass man die sogen. Trennungslinie nicht durch Herstellung einer Gleichung mit unzerlegtem Tageslichte finden kann, vielmehr den wahren neutralen Punkt nur bei vollkommen neutraler chromatischer Stimmung des Auges (welch letztere ja beim Partiellfarbenblinden die Lage des farbloserscheinenden Lichtes ebenso beeinflusst wie beim Farbentüchtigen die Lage der Kardinalpunkte im Spektrum!) zu bestimmen vermag.

Hering findet demnach keinen zwingenden Grund zur Annahme einer typisch verschiedenen Lage der wahren Trennungslinie gegeben, vielmehr schon das natürlich isoliert eingestellte scheinbar neutrale Licht in beiden Fällen wesentlich in jenem Spektralgebiete liegend, innerhalb dessen sich die Lage des reinen Grün für die Farbentüchtigen bewegt (41, S. 31). Ferner fand Hering Gleichungen Rotgrünblinder zwischen Wolkenlicht und dem dazu passenden grünen Spektrallichte bei Variation der Lichtstärke von 1 bis 50 (und dauernd erhaltenem Helladaptationszustand) gültig bleiben (41, S. 32): die Gültigkeit des Newtonschen Lichtermischungsgesetzes für Rotgrünblinde wurde auch an anderen spektralen sowie an Kreiselgleichungen festgestellt, ebenso für die analoge relativ rotgrünblinde Netzhautregion des Farbentüchtigen. (Biedermann 1881, vergl. Hering [41, S. 43].)

Bei der von König und Dieterici (159, 166) ausgeführten Untersuchung von vier Rotgrünblinden fand sich bei Intensitätsverdoppelung im allgemeinen Unabhängigkeit von Gleichungen zwischen je einem homogenen Lichte und einem Binärgemisch.

Die Helligkeitsverteilung im Tageslicht- bezw. Gaslichtspektrum auf bestimmter Intensitätsstufe für das helladaptierte Auge eines sogen. Rotblinden wurde von F. Hillebrand (49, S. 111) in der Weise messend charakterisiert, dass er denselben heterochromatische Helligkeitsgleichungen zwischen abstufbarem unzerlegten Tages-, bezw. Gaslicht und den einzelnen homogenen Strahlungen derselben Lichtquelle herstellen liess. Damit verglich er die Einstellungen seines helladaptierten farbentüchtigen Auges und konstatierte, dass das Helligkeitsmaximum für den sog. Rotblinden bei 568 bezw. 560 (gegen 568 bezw. 578 Hillebrands) gelegen war, dass demselben der langwellige Spektrumteil relativ dunkler, der kurzwellige relativ heller erschien als dem Farbentüchtigen. — Schon vorher (1884) hatte Donders (147, S. 74) die Helligkeitsverteilung im Gaslichtspektrum bei Helladaptation für einen sogen. Rotblinden und einen sogen. Grünblinden veranschaulicht (auf Grund von Gleichungen zwischen Rot + Blau und den einzelnen Spektrallichtern); für den ersteren lag das Maximum bei 569 gegen 589 für den letzteren und waren die Ordinaten im langwelligen Teile erheblich niedriger, die im kurzwelligen Teile höher.

König (55) untersuchte auch für Rotgrünblinde (vergl. Kap. III) die Helligkeitsverteilung im Spektrum auf acht verschiedenen „Intensitätsstufen“, indem er (mit Ausnahme der untersten Stufe) heterochromatische Helligkeitsgleichungen zwischen dem fixen Vergleichslichte 536 (für welches sich durch Dunkeladaptation die Empfindlichkeit gerade relativ sehr stark ändert!) und den einzelnen abgestuften Strahlungen des Gaslichtspektrums herstellen liess. Es ergab sich für den sogen. Grünblinden Brodhun eine Verschiebung des Maximums von 605 bis 535 für den sog. Rotblinden Ritter eine solche von 575 bis 535. Die thatsächlich gleichzeitig vorgenommene Änderung der

Lichtstärke und des Adaptationszustandes beeinträchtigt natürlich die Verwertbarkeit dieser Beobachtungen. — Auch die Reizschwellenbestimmung (55, § 8, S. 359) ergab für die thatsächlich dunkeladaptierten und farblossehenden Augen der beiden Farbenblinden das scheinbare Maximum bei 535, das wirkliche (bei Umrechnung nach S. P. Langleys Daten) bei 505 — was König für Brodhun schon früher (118) vermutet hatte. Aus Königs Bestimmungen ist zu entnehmen, dass die Helligkeitsverteilung im Spektrum auf höchster Intensitätsstufe und im helladaptierten Auge für den sogen. Grünblinden einen ähnlichen Typus aufweist wie für den Farbentüchtigen, für den sog. Rotblinden hingegen in der von Donders, F. Hillebrand charakterisierten Weise abweicht. Im Dunkeladaptationszustand stimmt hingegen die Helligkeitsverteilung in dem innerhalb gewisser Intensitätsgrenzen farblos gesehenen Spektrum, ebenso die Reizschwellenverteilung für den Farbentüchtigen, für den sogen. Rotblinden und den sogen. Grünblinden wesentlich überein. — Es sei gleich hier der Hinweis auf eine Beobachtung von J. v. Kries (124, S. 748; 125, S. 265) angefügt. Derselbe fand für den sogen. Rotblinden Büdingen die Helligkeitsverteilung in dem stark indirekt farblosgesehenen Gaslichtspektrum, die sogen. Peripheriewerte, durchaus verschieden von jener für sein (gelbsichtiges) farbentüchtiges Auge: die langwelligen Lichter relativ dunkler, die kurzwelligen relativ heller, das Maximum nach dem kurzwelligen Ende hin verschoben (noch 588 heller als 608). Für den sogen. Grünblinden Nagel hatte sie hingegen einen ganz ähnlichen Typus wie für J. v. Kries (125, S. 267).

Der sogen. Grünblinde Brodhun (146) (vergl. auch König [118]) fand Gleichungen zwischen einem konstanten Gemisch aus 615 + 460 und einem zunächst „farblos“ erscheinenden Spektrallicht, dessen Wellenlänge später zur Korrektur geändert wurde, bei allmählicher Intensitätsminderung bis auf $^1/_{12}$ nicht fortbestehen: die so bestimmte Verschiebung des sogen. neutralen Punktes ging von 496 bis 509,6 (125, S. 326). Eine farbige Gleichung zwischen einem Gemische aus den Lichtern 615 + 460, deren Mengenverhältnis zur Herstellung und Korrektur der Gleichung variiert wurde, und dem Spektrallichte 480 blieb auf den Stufen 80 bis 10 konstant: bei Verwendung von 500 (Stufen 80 bis 2,5) war die Farbenänderung, Bläulicherwerden des homogenen Lichtes, bei den niederen Intensitäten sehr erheblich; bei 600 zeigte sie sich gerade noch angedeutet. Am stärksten sind die Abweichungen bei 540 und 560. Oberhalb einer gewissen Intensitätsgrenze bestehe keine Abhängigkeit der Gleichungen mehr.

Analog lauten die Angaben von E. Tonn (134, S. 290). Für den sogen. Rotblinden Ritter wurde eine Gleichung hergestellt zwischen einem von einem Triplexbrenner orangefarben beleuchteten Magnesiumpapier und dem dazu passenden Spektrallichte: bei Steigerung der Intensität von 1 auf 240 wurde zur Korrektur statt 549,2 Licht 510,8 eingestellt.

Für diesen und für zwei Fälle von sogen. Grünblindheit (Henze und Schulz) giebt Tonn auch „Intensitäts"abhängigkeit der Gleichungen an zwischen einem Binärgemisch (645 + 435 in variablem Verhältnis) und je einem homogenen Lichte (134, S. 286): so wird z. B. bei Verwendung von 590 bis etwa 500 und „Intensitäts"minderung die Mischung gelber, die homogene Strahlung blasser. Auf der tiefsten „Intensitätsstufe" lag das Helligkeitsmaximum für den sogen. Rotblinden Ritter und den sogen. Grünblinden Henze an derselben Stelle, bei 535 mμ, wo bereits A. König für sein farbentüchtiges Auge sowie für den sogen. Rotblinden Ritter und den sogen. Grünblinden Brodhun „bei niedrigster Intensität" übereinstimmend das Maximum gefunden hatte (134, S. 303). Auf die gleichzeitige Änderung des Adaptationszustandes und auf die Bedeutung der Feldgrösse (Hering [139]) war in den bereits 1887 bezw. 1888 angestellten Versuchen keine Rücksicht genommen worden.

An dem sogen. Grünblinden Brodhun konstatierte Ebbinghaus (136, S. 171), dass eine auf hoher Intensitätsstufe hergestellte farblose Gleichung zwischen dem sogen. neutralen Spektrallichte (ca. 520) und einem Binärgemisch (685 + 432 oder 589 + 470) bei gleichmässiger „Minderung der Lichtstärke" durch Auftreten eines erheblichen Helligkeitsunterschiedes[1]) unrichtig wurde zu Ungunsten des Gemisches und zwar „längst ehe jene Grade der Dunkelheit erreicht waren, an die man sich erst durch längeren Aufenthalt adaptieren muss."

In Ergänzung von Brodhuns Beobachtungen hat der sogen. Grünblinde Nagel (mit J. v. Kries [57, S. 96]) angegeben, dass in einer Gleichung hergestellt auf einem Felde von 3° in 3° Abstand vom Netzhautcentrum zwischen dem farblos erscheinenden Spektrallichte und einem Binärgemisch aus rotem und blauem Lichte bei verminderter Intensität und absichtlich damit kombinierter Dunkeladaptation die homogene Hälfte viel heller wurde: nur bei kleinem Felde und direkter Fixation konnte Nagel keine Differenz bemerken. — In einer weiteren Untersuchungsreihe hat derselbe Beobachter (58) einerseits bei guter Helladaptation, hellbleibendem Beobachtungszimmer und hoher Intensitätsstufe und mit Hellpausen zwischen den Kontrollen auf einem central fixierten Felde von etwas weniger als 2° Gleichungen („Hellgleichungen" genannt) hergestellt zwischen einem Gemisch von 645 + 460,8 und je einem von 22 Spektrallichtern. Ein gelegentlich zu geringer Helladaptationsgrad machte sich an einer abweichenden Einstellung bemerkbar (58, S. 6, Anm. 2). Unter den gewählten Bedingungen liess sich noch zwischen 645 (oder 670) und 550, 544, fast noch 536 eine gute Gleichung gewinnen. — Auf der anderen Seite wurden bei guter Dunkeladaptation, verdunkeltem Beobachtungszimmer und

1) An farbigen Gleichungen können durch das Auftreten blosser Helligkeits- und Sättigungsunterschiede farbige Differenzen infolge von Kontrast vorgetäuscht werden. Vgl. Tschermak (84) S. 203.

niedriger, nur farblose Empfindungen veranlassender Intensitätsstufe und mit Dunkelpausen zwischen den Kontrollen auf einem nicht näher bezeichneten grösseren Felde mit beliebig wanderndem Blick, also „hauptsächlich mit einer extrafovealen Netzhautregion" Gleichungen (als „Dunkelgleichungen", bezw. „Dämmerungswerte" bezeichnet) hergestellt zwischen einem fixen Vergleichslichte und je einem der schon früher benützten 22 Spektrallichter. Die so gewonnene Kurve charakterisiert die Helligkeitsverteilung in dem vom dunkeladaptierten sogen. grünblinden Auge farblos gesehenen Spektrum: sie stimmt im wesentlichen überein mit der bezüglichen Kurve des Farbentüchtigen (vergl. Kap. III) und den von König (ebenso von Tonn) für einen sogen. Rotblinden und einen sogen. Grünblinden auf tiefster Intensitätsstufe und bei thatsächlicher Dunkeladaptation ermittelten Wertreihen. — Der rechnerische Vergleich der Helleinstellungen und der Dunkeleinstellungen ergiebt Inkonstanz der Gleichungen. Dieselbe wurde auch direkt beobachtet bei „proportionaler Abschwächung der Lichter und Adaptierung des Auges" (58, S. 17) und für die Lichter 540 bis 490 maximal befunden: speziell an einer Hellgleichung $645 + 435 = 492$ wurden auf solche Weise messende Korrektionen durch Minderung des homogenen Lichtes vorgenommen (58, S. 20, Anm. 1). Analoge Resultate wurden an dem sogen. Grünblinden Stark gewonnen (58, S. 23). Schon an den Kreiselgleichungen sogen. Grünblinder z. B. 290^0 Rot + 70^0 Blau = 143^0 Blaugrün + 217^0 Wollschwarz wurde jene Inkonstanz deutlich befunden.

Nagel und Stark haben ferner unter Verwendung eines hellen Fixationspunktes (sic!) die Grösse des Feldes ermittelt, auf welchem sie bei centraler Fixation jene Störung der Gleichung $645 + 435 = 510$ oder 500 oder 495 nicht wahrnehmen konnten (58, S. 25). Nagel fand im Mittel an einem Tage 0,47 mm oder $1^0\ 48'$ (0,41 bis 0,55 mm oder $1^0\ 34' - 2^0\ 6'$), an einem anderen 0,58 mm oder $2^0\ 12'$ (0,55 bis 0,63 mm oder $2^0\ 6' - 2^0\ 24'$); Stark einmal im Mittel 0,51 mm oder $1^0\ 57'$ (0,33—0,78 mm oder $1^0\ 16' - 2^0\ 58'$), das andere Mal 0,64 mm oder $2^0\ 27'$ (0,57 — 0,78 mm oder $2^0\ 10' - 2^0\ 58'$). Diese Werte bleiben z. T. nicht unerheblich unter der Grösse des stäbchenfreien Bezirkes des Erwachsenen nach Koster (0,8 mm oder 3^0), noch mehr unter der Grösse des anscheinend purpurfreien Areales. J. v. Kries weist übrigens (104, S. 131) darauf hin, dass die Unmöglichkeit einer absolut genauen Fixation eine Fehlerquelle bedeutet, welche den betreffenden Bezirk etwas zu klein zu ergeben geeignet ist. — J. v. Kries und W. Nagel (58, S. 24) erweitern demzufolge den Satz Königs von der Abhängigkeit der Gleichungen (theoretisch: der Erregbarkeitskurven) speziell sogen. Grünblinder von der „Intensität" auf „Abhängigkeit von der Intensität und dem Adaptationszustande".

Bezüglich der sogen. Grünblinden hat A. König (119) folgende ältere Beobachtungen auf einem Felde von 1,06 mm oder 4^0 mitgeteilt. Es war

also der Einfluss der Netzhautstelle, bezw. der Makula (Hering [139]) noch nicht berücksichtigt worden, des weiteren war mit der Anwendung hoher Intensitätsstufen Helladaptationszustand, mit der niedriger Dunkeladaptationszustand kombiniert. Dem Adaptationszustand wird in dieser Arbeit von König bereits „ein sehr grosser Einfluss" beigemessen (119, S. 872, Anm. 1). — Unter den angegebenen Bedingungen blieben farbige Gleichungen eines sogen. Grünblinden zwischen einem Gemisch von 640 mit 440 und je einem der Zwischenlichter bei „Intensitätsminderung" nur bestehen, wenn das Spektrallicht 481 $m\mu$ Wellenlänge hatte: bei grösserer nahm das Mischfeld einen gelblicheren Ton an, zur Korrektur wurde dem homogenen Lichte eine grössere Wellenlänge gegeben; bei kleinerer Wellenlänge einen bläulicheren Ton. — Ferner wird in Gleichungen zwischen unzerlegtem Gaslicht und einer Mischung von 640 und einem Lichte von Wellenlänge 495 oder weniger (bezw. 500 oder mehr) bei „Intensitätsminderung" das Binärgemisch blauer (bezw. gelber): für 500 - 495 besteht Indifferenz. Bei Verwendung von unzerlegtem Tageslichte statt Gaslicht besteht Indifferenz für 480—472.

Nachdem Tschermak (84) die relativ langsame und beschränkte Adaptation des Netzhautcentrums und die Notwendigkeit der Anwendung eines schwarzen Fixierzeichens betont hatte, machte W. Nagel (mit J. v. Kries [142]) nochmals eine Beobachtungsreihe mit spezieller Rücksicht auf das Verhalten der centralen Netzhautpartie. Er verwendete nunmehr die Bunsen-Lummersche Fleckmethode zur Gewinnung von Gleichungen und benützte ein schwarzes Fixationszeichen. In erster Linie (142, S. 164) wurde eine farbige Gleichung hergestellt zwischen einer Scheibe von rotem Papier (beleuchtet von rotem Glaslichte) und der durchlochten, von gelbgrünem Spektrallichte durchstrahlten Feldmitte (0,066—0,132 mm oder 15′—30′) mit dem einen zuvor helladaptierten Auge — Zimmer sonst dunkel, also bis zur Beobachtung kurzdauernde Dunkeladaptation! — auf einer konstantgehaltenen Intensitätsstufe, welche „zwar gering war, aber doch nicht der Grenze der Sichtbarkeit sich näherte". Das andere 2—12 Stunden vor Licht geschützte Auge fand bei unveränderter Intensität die Gleichung im indirekten Sehen zwar unzutreffend (die Mitte viel heller und blasser); bei direkter Fixation bezw. innerhalb eines nach ½- oder 1-stündigem und nach 3- bis 10-stündigem Lichtabschluss nicht merklich verschieden grossen, ziemlich scharf begrenzten Bezirkes erschien sie hingegen nach wie vor richtig (142, S. 167).

In einer zweiten Versuchsreihe (142, S. 168) wurde die Heringsche Doppelzimmeranordnung verwendet und ein gleiches Resultat erhalten („keine deutliche Abweichung, auch keine Sättigungsdifferenz") für eine analoge farbige Gleichung zwischen einer Scheibe von rotem Papier von einer Rotlampe im sonst dunklen Beobachtungszimmer aus variabler Entfernung beleuchtet — Beobachtungsbeginn des „Hellauges" nach einigen Minuten

Dunkelaufenthalt — und der mit gelbgrünem Lichte[1]) durchstrahlten Feldmitte (15′ oder 0,066 mm). Behufs Korrektur für das dunkeladaptierte Auge wurde das gelbgrüne Licht allein mittelst Episkotister „abgeschwächt“ — auf $^1/_{40}$ bis $^1/_{80}$. Bei centraler Fixation wurde die Feldmitte jedesmal nur für kurze Zeit durch Entfernen einer roten Deckscheibe aufgedeckt und die relative Helligkeit eventuell bei unwissentlich veränderter Intensität des gelbgrünen Lichtes beurteilt.

Mit wesentlich derselben Anordnung (Fixation festgehalten, Scheibe verschieblich) wurde endlich die Grösse des centralen Bezirkes ermittelt, innerhalb dessen das dunkeladaptierte Auge die „Hellgleichung“ zutreffend fand: es ergab sich im Mittel 1° 48′ oder 0,47 mm horizontal und 1° 20′ oder 0,35 mm vertikal im rechten, 1° 27′ oder 0,38 mm horizontal im linken Auge — Werte, welche nicht unerheblich unter der Grösse des stäbchenfreien Bezirkes nach Koster (0,8 mm oder 3°) bezw. des purpurermangelnden Areales bleiben. Nagel fügt hinzu (142, S. 174), dass „bei weiterer (nicht näher bezeichneter) Entfernung des Fleckes von der Fixiermarke nochmals ein Punkt bemerkbar war, in dem sich mit einer annähernd gleichen Schärfe das Aussehen des Fleckes fast plötzlich änderte. Die matt weissliche Erscheinung desselben erfuhr hier eine rapide Veränderung durch das Auftreten einer sehr beträchtlichen Helligkeitssteigerung.“

Diese Angabe erinnert an die mässige Empfindlichkeitszunahme bei 0,25° bezw. 0,69° Excentricität und an die starke von 1° 15′ oder 0,33 mm bezw. 1° oder 0,26 mm ab — ersteres sicher innerhalb des stäbchenfreien Bezirkes bezw. des anscheinend purpurfreien Areales, letzteres anscheinend noch vor dessen Grenze — wie sie von den Schülern von J. v. Kries, Breuer und Pertz (105), speziell für blaues Licht festgestellt worden ist.

In den Beobachtungen Nagels blieb die Intensitätsstufe für das „Hellauge“ und das „Dunkelauge“ dieselbe: die Gleichungsalteration im indirekten Sehen war demnach ein reiner Effekt der Dunkeladaptation, wie es Tschermak (84) für farblose Gleichungen Farbentüchtiger vorher festgestellt hatte — in den früheren Beobachtungen Nagels (58) war hingegen Intensitätswechsel und Änderung des Adaptationszustandes kombiniert gewesen. Eine Prüfung bei möglichstem Konstanthalten einzelner Adaptationsstufen und blossem Intensitätswechel wurde von Nagel auch in dieser Versuchsreihe nicht vorgenommen.

Überhaupt liegt eine systematische gesonderte Prüfung der Bedeutung der Lichtstärke und des Adaptationszustandes für die Gleichungen Partiellfarbenblinder, in Analogie zur Untersuchung Tschermaks (84) an farblosen Gleichungen Farbentüchtiger, bisher nicht vor. Der genannte Autor hat sich per analogiam und nach gelegentlichen Beobachtungen an sogen.

[1]) Flüssiges Strahlenfilter und Auerlampe, vgl. W. Nagel (169).

Grün- und sogen. Rotblinden, auch hier für eine Unabhängigkeit einwandfreier Gleichungen von der Lichtstärke an sich ausgesprochen und auf den relativ hochgradigen Einfluss der Adaptation beim sogen. Grünblinden, auf den relativ geringen beim sogen. Rotblinden hingewiesen. Dadurch erscheint ihm auch einer der Faktoren — Verhalten der Hell-Dunkeladaptation — angedeutet, welche den typischen Unterschied der sogen. Grün- und sogen. Rotblinden bedingen (86, S. 10—12). Bezügliche Beobachtungen, welche zugleich schon auf die fortschreitende Annäherung und schliesslich Übereinstimmung der Rotgrünblinden bei Dunkeladaptation hinweisen, finden sich bereits bei Seebeck (179, S. 222—223). Für einen sog. Grünblinden (v. R.) wurden die im Helladaptationszustande zutreffenden Pigmentgleichungen (Tafel des Falles E) bei einbrechender Dämmerung immer unrichtiger — hingegen erschien die Farbentafel eines sog. Rotblinden (H.) immer richtiger. Weiterhin erschien sie sogar „grösstenteils gut geordnet", endlich aber auch nicht mehr richtig: die bei Tage für ihn zu helle Rothälfte gewisser Gleichungen war nunmehr sogar zu dunkel. Bei zwei sog. Rotblinden (H., N.) zeigte hingegen die einbrechende Dämmerung keinen merklichen Einfluss auf ihre Gleichungen: „es erschien ihnen die Farbentafel H.'s noch immer richtig und ungeändert, als sich auch der sogenannte Grünblinde v. R. schon mit derselben einverstanden erklärte, und sie bemerkten den Einfluss der Dämmerung, besonders durch das Dunklerwerden der roten Papiere, erst, als dieselbe so stark wurde, dass auch v. R. dieselbe Tafel unrichtig fand" [1]).

Für die beiden Typen der Farbentüchtigen (s. unten) ist das Verhalten der Gleichungen bei Änderung des Adaptationszustandes noch nicht vergleichend behandelt worden. Andererseits ist die von dem Verhalten der Gleichungen zunächst unabhängig zu prüfende Frage (die Unabhängigkeit dieser beiden Probleme illustriert besonders der typische Totalfarbenblinde mit anscheinend ungestörter Geschwindigkeit und Grösse der Dunkeladaptation bei Fehlen einer adaptativen Gleichungsalteration!) nach der Geschwindigkeit und Grösse der Dunkeladaptation beim sogen. Grün- und sogen. Rotblinden noch nicht vergleichend studiert: für die beiden Typen der Farbentüchtigen hat diesbezüglich Birch-Hirschfeld in Gemeinschaft mit Tschermak (85, S. 589 und 86, S. 10) vergleichende Untersuchungen begonnen.

II. Die sog. Rotblinden und die sog. Grünblinden und die beiden Gruppen der Farbentüchtigen.

Es ist hier zwar nicht der Ort näher auf den Typenunterschied der sogen. Rotblinden und der sogen. Grünblinden einzugehen, doch sei wegen

[1]) Auf diese interessante Stelle hat zuerst G. Abelsdorff hingewiesen in seinem Aufsatze: „Über einige Fortschritte unserer Kenntnisse von den Thatsachen der Gesichtsempfindung." Deutsch. med. Wochenschr. 1901. Nr. 34.

des Zusammenhanges mit den eben referierten Thatsachen an einige historische Daten erinnert. — Bekanntlich erklärte die Young-Maxwell-Helmholtzsche Dreifarbenlehre sowie ihre noch heute vertretene Modifikation als Dreifaser- oder Dreikomponentenlehre (Donders, Ad. Fick [149], Leber, J. v. Kries) die sogen. Rotblinden und sogen. Grünblinden — neben den sogen. Violett- oder Blaublinden — als zwei prinzipiell verschiedene Ausfalls- oder Reduktionsformen des trichromatischen Systems — infolge von Fehlen je einer Elementenart (J. v. Kries) oder von Koincidenz ihrer Erregbarkeitskurve mit jener einer anderen Elementenart (Leber, Fick), was allerdings einen sehr erheblichen Unterschied ausmacht.

Gegenüber der Dreifarbenlehre, nach welcher der sogen. Rotblinde an Farbenempfindungen nur Grün, Blau, Violett, der sogen. Grünblinde nur die Übergangstöne von Rot durch Purpur zu Violett besitzen sollte (Helmholtz 116, I. A. S. 298; II. A. S. 365), hatten die genauen Beobachtungen Herings 1880 (150) für das Bestehen von bloss zwei Farbentönen, sowie für eine jener Lehre widersprechende Helligkeitsverteilung im Spektrum entschieden. Hippels Fall einseitiger sogen. Rotblindheit (154) entschied speziell, wie vorauszusehen war, für alleiniges Bestehen der Farbenempfindungen Gelb und Blau, zugleich aber auch der farblosen Empfindungsreihe und für die Heringsche Theorie der Gegenfarben, speziell für die Analogie zur Abnahme des Farbensinnes im indirekten Sehen[1]) und zur erworbenen Rotgrünblindheit. Hering hat weiterhin durch systematische Untersuchung zahlreicher Einzelfälle (1880—1885 150, 41) die prinzipielle Zusammengehörigkeit der sogen. Rotblindheit und der sogen. Grünblindheit als Rotgrünblindheit, d. h. als gleichzeitiger Ausfall der Rot- und der Grünerregbarkeit und alleiniges Restieren der Gelb- und der Blauerregbarkeit nachgewiesen, sowie die bezüglichen Konsequenzen der Dreifarben- und Dreifaserlehre kritisch beleuchtet. Unerlässliches Mittel zu diesem Nachweise ist die Benutzung an Wellenlänge (Zusammensetzung) und Intensität fein abstufbarer Verwechslungslichter; fixe Verwechselungsgleichungen haben keinen diagnostischen Wert (151). — Jener Fundamentalsatz darf bei der Erörterung über die Grundlagen der Verschiedenheit jener zwei Typen innerhalb der Rotgrünblinden niemals zurücktreten. Bezüglich derselben bemerkte Hering schon 1880 (150, S. 30): „Es handelt sich hier um Erscheinungen (Valenzverhältnisse), welche sich bis jetzt nicht wie die oben erörterten aus der Theorie a priori ableiten lassen."

Die beiden Typen der Farbentüchtigen. Hering hat ferner die Analogie der sogen. rotblinden und sogen. grünblinden Rotgrünblinden zu den beiden Typen der Farbentüchtigen aufgestellt (150 u. 41). Es sei daher zunächst an die Litteratur über den letzteren Gegenstand erinnert.

---

[1]) Der systematische Nachweis dieser Analogie ist von Biedermann und Singer auf Herings Veranlassung 1881 erbracht worden (41 S. 43).

Nachdem schon Maxwell, genauer noch M. v. Frey und J. v. Kries (137) bei der Herstellung farbloser Gleichungen aus spektralen Lichtern im direkten wie indirekten Sehen individuelle Verschiedenheiten (v. Frey forderte zur farblosen Mischung mit einem langwelligen Lichte ein solches von relativ kürzerer Wellenlänge als v. Kries) festgestellt hatten, ist bekanntlich zuerst von Lord Rayleigh (176) eine Scheidung der Farbentüchtigen in zwei Typen vorgenommen worden. Er fand — Helladaptationzustand vorausgesetzt — bei Herstellung der unvollkommenen Gelbgleichung zwischen einem Gemisch aus rotem mit grünem Spektrallichte und einer Strahlung von etwa 589 $m\mu$ solche Individuen, welche relativ wenig (19 unter 24) und solche, welche relativ viel grünes Licht (5 unter 24) beanspruchten, also Licht um 535 relativ gut, bezw. relativ schlecht auswerteten, beide bei „normalem Farbensinn". Donders (147, 148) hat diesen Fund mittelst der Tongleichung: Lithiumlicht (670,6) + Thalliumlicht (535) = Natriumlicht (589) genauer bestätigt — auf einem nicht näher bezeichneten Felde, bei einem gewissen Helladaptationsgrade. Er fand 59 Vertreter der I. gewöhnlichen Kategorie (relativ Blausichtige nach Hering) mit Li : Tl = 2,34—3,17 : 1 (Mittel 2,65 : 1), darunter 3 farbensinnschwache (148 S. 523) und 10 Vertreter der zweiten, selteneren Kategorie (relativ Gelbsichtige nach Hering) mit Li : Tl = 0,26—1,05 : 1 (Mittel 0,82 : 1), darunter 1 farbensinnstarker. Analog verhielten sich dieselben gegenüber unvollkommenen Gleichungen zwischen der Mischung der angegebenen zwei Lichter und sonstigen dazwischengelegenen Strahlungen (148 Kap. 2). Bei der Herstellung heterochromatischer Helligkeitsgleichungen für das helladaptierte Auge zwischen Na-licht und Li-licht bezw. Tl-licht schienen die Vertreter der zweiten Kategorie im Durchschnitt etwas mehr Li-licht zur Gleichung mit dem fixen Na-licht zu brauchen, nämlich 10 Na = 68,5 Li statt 10 Na = 48,7 Li (doch der Vertreter B. der II. Kategorie 45 Li, der Vertreter D. der I. 60,8 Li!), während der Durchschnitt bei der Vergleichung von Na und Tl wenig verschieden (10 = 24,9 gegen 10 = 21,4) lautete. — Zwischen den beiden Augen eines Beobachters fanden sich stets kleine Unterschiede: ein extremer Fall (Sulzer [148 S. 529]) bot für das

RA: 69,5 Li + 30,5 Tl = 23,04 Na,
10 Na = 30,8 Li = 25,5 Tl,
LA: 80,2 Li + 19,8 Tl = 19,95 Na,
10 Na = 56,6 Li = 14,3 Tl.

Einen wesentlichen Fortschritt in der Kenntnis der beiden Typen brachte der von Hering 1885 an einer Reihe von Personen im Helladaptationszustande exakt geführte Nachweis (41 S. 15 ff.), dass auch bezüglich der Zusammensetzung des als tonreines oder Urrot, bezw. Urgrün oder reines Grau (diesbezüglich auch Tageslicht geprüft) empfundenen Mischlichtes ein typischer Unterschied besteht, dem gegenüber die Schwankungsbreite nicht in Betracht kommt. Hering nannte die viel Blauzusatz (z. B. Rotsektor : Blau-

sektor = 2,6 : 1, Grünsektor : Blausektor = 5 : 1, Spektralrot 660 : Blau 447 = 1,15 : 1 Spaltbreite) fordernden Individuen, welche der **zweiten** Gruppe von Rayleigh entsprechen, relativ Gelbsichtige (zugleich relativ rotsichtig 41 S. 24), die wenig Blaulicht (z. B. Rotsektor : Blausektor = 26,7 : 1, Grünsektor : Blausektor = 16 : 1, Spektralrot : Blau = 7,0 : 1 Spaltbreite) fordernden, also dieses gut auswertenden Individuen — entsprechend der **ersten**, häufigeren Gruppe von Rayleigh — relativ Blausichtige (zugleich relativ grünsichtig (41, S. 24). Bezüglich des Urgrüns im Spektrum ergab sich unter gewöhnlichen Beobachtungsverhältnissen eine typisch verschiedene Lage, nämlich für die ersteren eine relativ grössere, für die letzteren eine relativ geringere Wellenlänge, aber teilweise Deckung der Einstellungsgebiete (41, S. 22). Auch bei der Herstellung eines farblos erscheinenden Gemisches aus Spektralrot und Blaugrün oder aus Grüngelb und Violett (weniger bei Mischung von Gelb und Blau) zeigte sich dieselbe typische Verschiedenheit: Forderung einer grösseren Menge der kurzwelligen Komponente seitens des Gelbsichtigen (41, S. 35). — Ebenso wurde an den Tongleichungen zwischen Spektralgelb und einem Gemisch aus Spektralrot mit Gelbgrün oder zwischen Grüngelb und Orange mit Gelblichgrün die Forderung von mehr grünen Lichtes seitens des Gelbsichtigen konstatiert; bei dem extrem Blausichtigen ist die Einstellung wegen der zu grossen Sättigungsdifferenz sehr schwankend (41, S. 36). Hingegen zeigte sich an der Blaugleichung zwischen Spektralgrün mit Violett und Urblau mit genau gegenfarbigem Gelb (zur Sättigungsausgleichung) keine typische Verschiedenheit (41, S. 58). — Während sich die vorstehenden Beobachtungen Herings an den beiden Typen der Farbentüchtigen wesentlich auf das direkte Sehen beschränkten, wurde auf seine Veranlassung von Biedermann (extrem gelbsichtig) und Singer (extrem blausichtig) schon 1881 mittelst Gleichungen auf einem besonderen Farbenkreisel eine systematische Vergleichung im indirekten, speziell im extramakularen und relativ rotgrünblinden Gebiete unternommen; es ergaben sich auch hier (wenn auch in viel geringerem Masse (41, S. 43—44) ganz gesetzmässige Unterschiede der beiden Typen der Farbentüchtigen wie für das Netzhautcentrum. Schliesslich wies Hering nach (41, S. 47), dass der relativ Gelbsichtige das langwellige Spektralende weiter reichend (auch das kurzwellige wenigstens satter) sieht als der relativ Blausichtige; auch in anderen Versuchen schien ihm der Gelbsichtige eine relativ kräftigere Blaugelb- (und Rotgrün-) empfindung in Vergleich zur farblosen Empfindung zu haben als der Blausichtige (41, S. 49). — Auf die Deutung des gesamten, an den beiden Typen der Farbentüchtigen und der Rotgrünblinden gewonnenen Thatsachenmaterials seitens Herings als Effekte eines typisch verschiedenen Pigmentierungsgrades der Macula lutea (41, S. 19 ff.) und der Linse (41, S. 44 ff.), sowie einer typischen Verschiedenheit des Blaugelbsinnes (41, S. 46 ff.) wird später einzugehen sein.

König und Dieterici (159, S. 291) haben 70 Personen nach der Methode von Rayleigh-Donders geprüft und das Verhältnis Li : Tl = 1,674—1,362 : 1

einerseits (67 Personen), Li : Tl = 0,504—0,322 : 1 andererseits (3 Personen — extrem Gelbsichtige nach Hering, von den Autoren „anomale Trichromaten" genannt) gefunden. Durch mehrere Gleichungsreihen zwischen einem Gemisch von 2 oder 3 Lichtern und je einem Zwischenlicht (allerdings nur in einigen Fällen für beide Gruppen dieselben Mischungskomponenten benutzt! Vergl. (159) Tab. XII, S. 297 und XIX, S. 317) wurde festgestellt, dass die blauen und violetten Tongleichungen (475—443 mμ) beider Gruppen im allgemeinen übereinstimmen — eine Bestätigung von Herings Angabe (41, S. 58), dass hingegen bei Verwendung von Lichtern grösserer Wellenlänge die seltenere Kategorie (extrem Gelbsichtige) von der langwelligen Komponente im allgemeinen weniger, von der kurzwelligen (bis 475) im allgemeinen mehr fordert als die häufigere Kategorie (relativ Blausichtige), was wiederum eine Bestätigung der Befunde Herings bedeutet.

Eine durch J. v. Kries (164, S. 285) vorgenommene Prüfung von 20 und von 23 Farbentüchtigen mittelst der Tongleichung 670 + 535 = 589, bezw. 510 + 460,9 = homogenem Blaugrünlicht, ergab die Verhältniszahlen für Grün : Rot 1,0—1,3 und 1,0—1,9, bezw. für Blau : Grün 1,00—2,15; nur zwei (extrem Gelbsichtige) forderten viel mehr von Licht 535, nämlich 3,8 und 5 statt 1. — Eine detaillierte Vergleichung (165) von drei Repräsentanten mit gewöhnlichem Verhalten (relative Blausichtigkeit) und zwei Vertretern des selteneren (extrem Gelbsichtige) ergab, dass die letzteren zur Herstellung von Tongleichungen central auf 1,5^{0} bei helladaptiertem Auge zwischen einem Rotgrüngemisch und einem der Lichter 628 bis 552 nicht ein konstantes Vielfaches des Grün-Rotverhältnisses der Normalen fordern, vielmehr zur Gleichung mit den Strahlungen grösserer Wellenlänge ein höheres Multiplum als für Strahlungen geringerer Wellenlänge: z. B. für 628 mμ 4,51; für 552 mμ 2,12. Geringer sind solche Unterschiede für unvollkommene Gleichungen von 517 mit 460 und den Zwischenlichtern (vergl. Hering, 41, S. 58). Die Einstellungen auf einem centralen Felde von 1^{0} und auf einem 3^{0} abstehenden, excentrischen von 3^{0} ergaben — in Bestätigung der Untersuchungen von Biedermann und Singer (Hering [41, S. 43 44]) — in beiden Fällen den typischen Unterschied, central war der Grünbedarf in beiden Fällen etwas grösser als excentrisch (165, S. 67; vergl. Breuer, 135). Andererseits zeigte sich an Gleichungen zwischen je einem Lichte von 591—529 und Licht 460 bei dunkeladaptiertem Auge und auf einer farblos erscheinenden Intensitätsstufe eine wesentliche Übereinstimmung der beiden Gruppen; nur für langwellige Lichter forderten die „anomalen" Fälle (extrem Gelbsichtige) etwas weniger Blaulicht. — J. v. Kries zieht aus dem Angegebenen den Schluss, dass der Unterschied beider Typen, von denen er die beiden Vertreter des selteneren nicht farbensinnschwach fand (contra Donders — nach Hering gerade umgekehrt), nicht in einer verschiedenstarken Pigmentierung des lichtleitenden Apparates, speziell der

Makula, sondern „in der Beschaffenheit der optischen Substanzen selbst“ begründet sei; darauf wird später einzugehen sein.

Ein Ausdruck der Typendifferenz unter den Farbentüchtigen ist ferner anscheinend der Befund Polimantis (129), dass er selbst (als vermutlich relativ Blausichtiger) das Gaslichtspektrum beim stark indirekten Farblossehen des helladaptierten Auges in einer anderen Helligkeitsverteilung sieht als J. v. Kries (vermutlich relativ gelbsichtig), derart, dass er von etwa 650 bis 589 niedrigere, von 589 bis 509 (Untersuchungsgrenze) etwas höhere sog. Peripheriewerte erhält als J. v. Kries: das Maximum bei 589 gegen 624 bis 589. Polimanti steht damit dem sog. Rotblinden Marx näher, J. v. Kries stimmt fast mit dem sog. Grünblinden Nagel überein (129, S. 272, 274, 278).

Die Typendifferenz scheint sich endlich nach den von Birch-Hirschfeld und Tschermak begonnenen Untersuchungen auch bezüglich der Geschwindigkeit und Grösse der Dunkeladaptation, speziell auch bezüglich des Purkinjeschen Phänomens, auszuprägen (vergl. Kap. I).

Die beiden Typen der Rotgrünblinden. Bezüglich der beiden Typen der Rotgrünblinden sei zunächst daran erinnert, dass in Holmgrens Statistik beide mit etwa gleicher Zahl vertreten sind, in anderen die sog. Rotblinden erheblich überwiegen, in Nagels Untersuchung (170) das Verhältnis der sog. Grünblinden zu den sog. Rotblinden 23 : 11 lautet. Bezüglich der beiden Typen der Farbentüchtigen haben sich Rayleigh, Donders, König, v. Kries für relative Seltenheit der extrem Gelbsichtigen, der sog. zweiten Gruppe oder anomalen Trichromaten, ausgesprochen. Hering hat die Frage offen gelassen, ob der strengeren Teilung der Rotgrünblinden insofern eine gewisse Berechtigung zukomme, als die höheren Grade von Blausichtigkeit und Gelbsichtigkeit häufiger vorkommen als die Mittelgrade (41, S. 50), ähnlich Rählmann gegenüber Nagel (175). — Schon Lord Rayleigh (176) hatte gefunden, dass die sog. Rotblinden — im Helladaptationszustand — durch den Bedarf von viel mehr Lithiumlicht zur Gleichheit mit einer bestimmten Stufe von Natriumlicht typisch verschieden sind von den sog. Grünblinden. Donders (147, S. 527) bestätigte dieses Verhalten, dass nämlich dem helladaptierten Auge des sog. Rotblinden das Lithiumlicht im Vergleich zum Na- und Tl-Licht weit dunkler erscheint, z. B. 10 Na = 276 Li statt 10 Na = 63,84 Li; bezw. 10 Tl = 238 Li statt 10 Tl = 27 Li, hingegen 10 Na = 12,19 Tl statt 10 Na = 24,56 Tl. Donders meinte auf Grund der scheinbaren Andeutung einer Differenz gleichen Sinnes bei den Farbentüchtigen irrigerweise, wie sich aus Herings Untersuchungen

ergiebt, die sog. Grünblinden mit der ersten Kategorie (den relativ Blausichtigen!), die sog. Rotblinden mit der zweiten (den relativ Gelbsichtigen!) in Analogie setzen zu sollen. Dieser Irrthum hat zu manchem Missverständnis auf dem behandelten Gebiete geführt. — Später hat W. Nagel (170, S. 48) die Tongleichung zwischen rotem und gelbem Glaslichte zur Massenuntersuchung und diagnostischen Unterscheidung von sog. Rotblinden und sog. Grünblinden benutzt.

Die Analogie zwischen den beiden Typen der Rotgrünblinden und jenen der Farbentüchtigen hat erst Hering (150 und 41, S. 24 ff.) durch eine detaillierte, gleichzeitige Untersuchung aufgeklärt und begründet. Er zeigte nämlich, dass die Rotgrünblinden mit unverkürztem Spektrum oder sog. Grünblinden (detailliert studiert Fall H und Z) analog den gelbsichtigen Farbentüchtigen zur Herstellung von Grau, d. h. „einer weder ins Blaue noch ins Gelbe spielenden Farbe“ aus einem roten und einem violetten Spektrallichte, analog in Kreiselgleichungen aus Gelblichrot mit Blau und Grau (150, S. 27—28), relativ viel Violett fordern und zwar sehr angenähert in dem für einen extrem gelbsichtigen Farbentüchtigen urrot erscheinenden Verhältnisse (R : V = 2,16 Spaltbreite, Rotsektor : Blausektor = 2,6). Die Rotgrünblinden mit verkürztem Spektrum oder sog. Rotblinden (detailliert studiert Fall H und E) fordern analog den blausichtigen Farbentüchtigen relativ wenig Violett und zwar sehr angenähert in dem für einen extrem blausichtigen Farbentüchtigen urrot erscheinenden Verhältnisse (R : V = 14 Spaltbreite, Rotsektor : Blausektor = 26,7)[1]. Zu einer Gleichung zwischen dem farblos erscheinenden grünen Lichte bezw. unzerlegtem Tageslichte und einer Rotviolettmischung — von Hering zur vergleichenden statistischen Untersuchung besonders empfohlen (41, S. 50) — bedarf der sog. Grünblinde einer relativ viel grösseren Intensität des grünen Lichtes bezw. des Tageslichtes als der sog. Rotblinde (41, S. 38). Analoges ergaben Kreiselgleichungen zwischen Gelblichgrün mit Blau und Grau (150, S. 27). Schliesslich wurde es auch als typischer Unterschied konstatiert, dass der sog. Grünblinde das langwellige Spektrumende weiter reichend (relativ heller) sieht als der sog. Rotblinde (41, S. 48), welcher zum Rot ein für den Farbentüchtigen viel dunkleres Verwechslungsgrau einstellt (150, S. 27—28): auch in anderen Versuchen schien Hering der sog. Rotblinde eine schwächere Blaugelbempfindung im Vergleich zur Weissempfindung zu besitzen als der

[1]) Einen analogen Befund, der auf zwei Typen hindeutet, machte schon Rose (177). Er fand nämlich:

I. in der Kreiselgleichung Rot + Blau = Weiss + Schwarz
bei Fall H, J, G R : Bl = 1 : 0,8—1,2
bei Fall E, A R : Bl = 1 : 2,1—2,5.

II. in der Kreiselgleichung Rot + Blau = Grün + Schwarz
bei Fall B, G, C, H, (J) R : Bl = 1 : 0,6—1,6 (2,7)
bei Fall A, E R : Bl = 1 : 2,7—5,0.

Bruno von der Weyde
(1900?)

sog. Grünblinde (41, S. 48). — Jene Typendifferenz bezüglich des Mischungsverhältnisses der langwelligen und der kurzwelligen Komponente zu sog. Rot und bezüglich der damit gleich erachteten Intensitätsstufe von unzerlegtem Tageslicht besteht — in Bestätigung der analogen Angaben Herings (Biedermann und Singer [41, S. 43]) für das extramakulare Sehen der beiden Typen der Farbentüchtigen — auch im indirekten Sehen oder extramakularen Gebiete, z. B. für 4° 13′ in 8° Excentricität, wovon ich mich mehrfach überzeugt habe. Auf dieselbe typische Helligkeitsverschiedenheit langwelliger Lichter weisen auch die sog. Peripheriewerte des sog. Rotblinden und des sog. Gründblinden nach J. v. Kries hin.

Der von Hering nachgewiesene typische Unterschied innerhalb der Rotgrünblinden im Helladaptationszustande ergiebt sich auch aus den Beobachtungen von König und Dieterici (159, S. 280).

Der sog. Rotblinde Kranke stellte Gleichungen her zwischen verschiedenen Intensitätsstufen von 632 und je einem Lichte von 670 bis 550, ferner zwischen verschiedenen Mischungsverhältnissen von 555 und 436 und je einem Zwischenlichte, endlich zwischen verschiedenen Intensitätsstufen von 430 und je einem Lichte von 440 bis 420. Der zweite sog. Rotblinde Sakaki Gleichungen zwischen verschiedenen Intensitätsstufen von 670 und je einem Lichte von 720 bis 670, ferner zwischen verschiedenen Mischungsverhältnissen von 670 mit 556 und je einem Zwischenlichte, ebenso für 590 mit 487, endlich ebenso für 510 mit 439. — Der sog. Grünblinde Waldeyer stellte Gleichungen her zwischen verschiedenen Intensitätsstufen von 670 und je einem Lichte von 670 bis 642,5, ferner zwischen verschiedenen Mischungsverhältnissen von 642,5 mit 487 und je einem Zwischenlichte, endlich ebenso für 510 mit 440. Der zweite sog. Gründblinde Brodhun Gleichungen zwischen verschiedenen Intensitätsstufen von 670 und je einem Lichte von 670 bis 640, ferner zwischen verschiedenen Mischungsverhältnissen von 640 mit 487 und je einem Zwischenlichte, ebenso für 535 mit 438.

Zusammengefasst (vergl. 159 Tafel S. 256) ergab sich in Bestätigung der Befunde Herings, dass die beiden sog. Rotblinden bis etwa 575 weniger von der langwelligen Komponente, von dort ab bis zum Nullpunkte um 455 mehr fordern als die beiden sog. Grünblinden; von etwa 560 bis um 495 weniger von der kurzwelligen Komponente, jenseits 495 ist keine typische Verschiedenheit mehr erkennbar.

Die Folgerungen aus den späteren Beobachtungen Königs (55): nämlich verschiedene Helligkeitsverteilung im Spektrum für das helladaptierte Auge des sog. Rotblinden und des sog. Grünblinden (ähnlicher Typus wie beim Farbentüchtigen), hingegen übereinstimmende für das dunkeladaptierte sog. rotblinde und grünblinde sowie farbentüchtige Auge — analog zu dem Verhalten der beiden Gruppen der Farbentüchtigen (Kries [165]) — wurden bereits oben mitgeteilt (zu Anfang dieses Kap.): ebenso die Ergänzung durch J. v. Kries (124) und Polimanti (129) für die Helligkeitsverteilung in dem stark indirekt vom helladaptierten Auge farblos gesehenen Spektrum: für den sog. Grünblinden Nagel und den relativ Gelbsichtigen J. v. Kries ganz ähnlich, für die sog. Rotblinden Büdingen und Marx stark verschieden (vgl. Hillebrand 49, S. 111) von den ersteren, weniger von dem relativ Blausichtigen Polimanti.

Endlich liess J. v. Kries (164, S. 241) die beiden sog. Rotblinden Sehrwall und Marx und die beiden sog. Grünblinden Nagel und Stark — für welche er in Konsequenz einer reinen Dreifaserlehre, die der Empfindungsweise nichts präjudizieren soll, die Bezeichnungen „Protanopen" und „Deuteranopen" vorschlägt — vergleichend Gleichungen herstellen auf einem central fixierten Felde von 1° 45′ bei helladaptiertem Auge zwischen einem variablen Gemisch von 589,2 für die ersteren, von 645 für die letzteren und 460,8 (letzteres Licht nur von 536 bezw. 515 bis 460,8 hinzugefügt) und einer Reihe homogener Lichter des Gaslichtspektrums auf einer bestimmten fixen Intensitätsstufe. Es ergab sich im wesentlichen eine Bestätigung der Feststellungen Herings und der analogen Beobachtungen von König und Dieterici: die sog. Rotblinden brauchen bis etwa 600 weniger, von da ab mehr von der langwelligen Komponente und (von 525 oder 515 ab) weniger von der kurzwelligen Komponente (wenigstens bis 483: darüber hinaus kein typischer Unterschied mehr) als die sog. Grünblinden. — In zweiter Linie wurden nach dem Vorgange von Rayleigh und Donders Helligkeitsgleichungen hergestellt zwischen Li- und Na-Licht und von 9 sog. Grünblinden 36,3—40,0 Li = 10 Na, von 11 sog. Rotblinden 196—225 Li = 10 Na erachtet (163, S 146). An einer Gleichung 490 = 517 (bis 510) + 460, gewählt zur Prüfung der Stärke der Makulaabsorption, ergab sich kein Unterschied nach den zwei Typen (164, S. 264). Bei Herstellung von Gleichungen (164, S. 268) zwischen unzerlegtem Wolkenlicht, durch Mattglas oder Rauchglas geschwächt oder von MgO-Papier reflektiert, und einem dazu passenden Spektrallichte (der neutrale Punkt ist auf diese Weise nicht bestimmbar! Hering [41, S. 34] wählte ein sog. Grünblinder 499, 495, 499 mμ, zwei sog. Rotblinde 497, 494, 498, bezw. 489, 486, 490. — J. v. Kries kam ferner (164, S. 275) zu dem Ergebnis, dass die für sein farbentüchtiges Auge gültigen Tongleichungen eines Rotgrüngemisches 670,8 + 550 und der Strahlung 600 bis 639, namentlich einer solchen von grösserer Wellenlänge als 600, sowohl von den beiden sog. Grünblinden als den beiden sog. Rotblinden als sehr angenähert zutreffend anerkannt wurden. Analoges, bezw. Schwanken innerhalb ganz ähnlicher Grenzen, ergab sich bezüglich der unvollkommenen Gleichung 510 + 460 = homogenem Blaugrünlicht (164, S. 283). J. v. Kries verweist auf die gleichlautenden Angaben früherer Untersucher (164, S. 308).

Endlich hat Polimanti (129) die sog. Flimmerwerte und die sog. Peripheriewerte, welche er für sein farbentüchtiges Auge wesentlich übereinstimmend fand, auch für einen sog. Grünblinden (Nagel) bezw. für einen sog. Rotblinden (Marx) als angenähert übereinstimmend erwiesen. Die Bestimmungsreihen des sog. Grünblinden zeigen überdies (von 642) bis 589 höhere, von 589 bis 509 (Untersuchungsgrenze) niedrigere Werte als für den sog. Rotblinden: Maximum 606 gegen 565. Die Kurve für den sog. Grünblinden stimmt, wie bereits oben erwähnt, sehr angenähert mit jener für den

wohl relativ gelbsichtigen farbentüchtigen J. v. Kries überein: dem sog. Rotblinden (vgl. auch die Bestimmungen des sog. Rotblinden Büdingen bei J. v. Kries [124]) nähert sich der wohl relativ blausichtige Polimanti (129, S. 272, 274, 278).

Ob etwa auch bezüglich des Verhaltens der Dunkeladaptation, speziell ihrer Geschwindigkeit und Grösse, einer Analogie der beiden Typen der Rotgrünblinden und der beiden Typen der Farbentüchtigen besteht, muss erst die weitere Untersuchung lehren: bezüglich der Abhängigkeit der Gleichungen vom Adaptationszustande ist schon heute zwischen den beiden ersteren, bezüglich der Geschwindigkeit und Grösse der Dunkeladaptation zwischen den beiden letzteren eine typische Differenz zu vermuten.

Zusammenfassung. Wir finden demnach, kurz zusammengefasst, einerseits während des Helladaptationszustandes erstens in der verschiedenen Grösse der zur Rot- oder Grün- oder Farblosmischung, ebenso zur Tongleichung von gelbem und rotgrünem Lichte, sowie zu Gleichungen aus zwei oder drei Lichtern und einem Zwischenlicht geforderten Menge kurzwelligen Lichtes im direkten wie auch im indirekten Sehen, zweitens in der verschiedenen relativen Helligkeit des langwelligen Spektralendes im direkten Sehen und der verschiedenen Spektrallichter überhaupt, d. h. der relativ langwelligen gegenüber den relativ kurzwelligen beim Farbloserscheinen im stark indirekten Sehen, andererseits in der wesentlichen Übereinstimmung während des Zustandes absoluter Dunkeladaptation eine volle Analogie zwischen den beiden Typen der Farbentüchtigen, den relativ Gelbsichtigen und den relativ Blausichtigen, und den beiden Typen der Rotgrünblinden, den sogen. Grünblinden oder relativ gelbsichtigen und den sogen. Rotblinden oder relativ blausichtigen Rotgrünblinden. Die relativ gelbsichtigen Farbentüchtigen und Rotgrünblinden sind nämlich während des Helladaptationszustandes durch die (erheblich) bessere Auswertung der langwelligen und die (erheblich) schlechtere Auswertung der kurzwelligen Strahlungen, während des Dunkeladaptationszustandes nicht erheblich (und zwar anscheinend umgekehrt durch die nunmehr etwas bessere Auswertung der kurzwelligen Strahlungen) typisch verschieden von den relativ blausichtigen Farbentüchtigen und Rotgrünblinden.

Dieser von Hering, König und J. v. Kries de facto völlig übereinstimmend festgestellte Thatbestand führt allerdings zu einem ganz anderen Schluss, als ihn W. Nagel (172) mit den Worten zog: „Die Heringsche Unterscheidung in relativ blausichtige und relativ gelbsichtige Rotgrünblinde steht mit sicher konstatierten Thatsachen in Widerspruch". — Hier genüge die detaillierte Hervorhebung jenes Thatbestandes, mag die komplizierte Frage nach den offenbar gleichfalls analogen Grundlagen der typischen Verschieden-

heit in beiden Fällen wie immer zu beantworten sein, worauf im zweiten Abschnitte eingegangen werden wird.

B. Beobachtungen an Totalfarbenblinden.

Die Verteilung der subjektiven Helligkeit im Gaslichtspektrum für einen Fall angeborener totaler Farbenblindheit hat zuerst Donders (147, S. 180) als Verkürzung an beiden Enden und Maximum bei 524 m μ angegeben. Dies hatte schon Landolt (167) auf Grund der Anordnungsweise von Pigmentlichtern vermutet. — Ganz Analoges stellten A. König und Dieterici (158, 159, S. 253) am Falle Beyssel fest: Gaslichtspektrum, Vergleichslicht nicht angegeben, Maximum bei 540. Sie fanden überdies Gleichungen bei Intensitätsänderung (allerdings anscheinend in nur geringem Umfange vorgenommen) fortbestehen (159, S, 254). — Andererseits war schon früher von O. Becker (145) in einem Falle unvollständiger einseitiger Achromatopsie (cf. Hering 150, S. 16) das Helligkeitsmaximum im Gelb angegeben worden: desgleichen von Magnus (168) und F. Kreyssig (161), Schöler und Uhthoff (178), ebenso Siemerling und König (180) haben von je einem Falle erworbener Totalfarbenblindheit mitgeteilt, dass dessen Pigmentlichtergleichungen im Helladaptationszustand angenähert den heterochromatischen Helligkeitsgleichungen des Farbentüchtigen entsprachen: bei „stark herabgesetzter Beleuchtung“ und thatsächlicher Dunkeladaptation wurden nach Schöler und Uhthoff diese Kreiselgleichungen unzutreffend. Endlich fand A. König (55, S. 386) in einem Falle von erworbener Totalfarbenblindheit des einen und erworbener sogen. Rotblindheit (scheinbarer neutraler Punkt um 495,6—498) des anderen Auges dieselben Gleichungen beiderseits angenähert richtig. Eine systematische Untersuchung der Helligkeitsverteilung im Spektrum für solche atypischen Fälle fehlt noch: daher muss auch die Frage zunächst offen gelassen werden, ob es neben den typischen Fällen angeborener Totalfarbenblindheit auch atypische giebt, welche das Spektrum in einer ähnlichen Helligkeitsverteilung wie das farbig sehende helladaptierte Auge sehen und deren Gleichungen vom Adaptationszustande abhängig sind. Ebenso die Frage über das Verhältnis der angeborenen und der erworbenen Totalfarbenblindheit.

Den entscheidenden Fortschritt auf dem in Rede stehenden Gebiete brachte der von Hering (44) geführte Nachweis, dass die Verteilung der Helligkeit im Spektrum für den angeborenen Tonfarbenblinden (Fall K.) und für das innerhalb gewisser Intensitätsgrenzen farblossehende, absolut dunkeladaptierte Auge des Farbentüchtigen im wesentlichen übereinstimmt. Es bestätigte sich so die theoretische Voraussagung, welche Hering auf Grund der Bestimmung der Weissvalenzen mit dem absolut dunkeladaptierten Auge gemacht hatte (42, S. 10); es wurden die für das letztere mittelst Kreisel oder Grauserie, Glaslichtphotometer, Spektralapparat vorbereiteten Gleichungen, in denen

dem helladaptierten farbentüchtigen Auge die langwelligen Lichter heller, die kurzwelligen dunkler als das Vergleichsgrau erscheinen, vom Totalfarbenblinden im wesentlichen ohne weiteres anerkannt. Im Spektrum des blauen Himmelslichtes, dessen langwelliges Ende verkürzt erschien (bis 665 und 420; Hering selbst bis 428), wurde der Vergleich der einzelnen Strahlungen 609 bis 425 mit dem abgestuften Messlichte 526,6 abwechselnd vom Totalfarbenblinden und vom absolut dunkeladaptierten farbentüchtigen Beobachter (Hering, Pereles) ausgeführt und wurden sehr angenähert übereinstimmende Einstellungen erhalten, Maximum bei 519 (bei Wolkenhimmel 524). Auch die Unterschiedsempfindlichkeit des Totalfarbenblinden erwies sich als nicht wesentlich verschieden von jener des Farbentüchtigen.

Herings Feststellungen wurden in einem anderen Falle F. von angeborener Totalfarbenblindheit von A. v. Hippel (155) mittelst Grauserie und Kreiselgleichungen (Helligkeitsmaximum zwischen 510—522, Wolkenlicht, langwelliges Ende bei gewöhnlicher Intensität verkürzt (bis 667 und 394; Hippel selbst 396) vollkommen bestätigt. Ein gleiches konstatierte derselbe Autor später an einem weiteren Falle (156). Zu demselben Resultate führte auch die vergleichende Untersuchung eines absolut dunkeladaptierten sogen Grünblinden (Nagel) und eines Falles angeborener Totalfarbenblindheit, welche J. v. Kries (164 Kap. 4. S. 292) vornahm: Maximum um 536, Gaslichtspektrum. Er fand überdies die spektralen und Kreiselgleichungen der Totalfarbenblinden anscheinend unabhängig vom Adaptationszustande (164, S. 295). (Ein centrales Skotom war in diesem Falle nicht zu beobachten, obwohl das eine Auge in der Fovea eine kleine glänzend weisse Stelle und daneben eine ebensogrosse schwarze aufwies. Nagel [171]). Eine solche Einflusslosigkeit des Intensitätswechsels wie der sonst normal verlaufenden Dunkeladaptation auf die optischen Gleichungen ergab sich bei allerdings nicht zahlreichen Prüfungen auch an einem von Hering und Hess untersuchten Falle (Tschermak 84, S. 323). Eine bezügliche systematische Untersuchung fehlt bis heute.

Schon 1894 hatte A. König (101), ähnlich wie 1892 Chr. Ladd-Franklin (166) die Vermutung geäussert, dass der purpurfreie Bezirk, den er irrigerweise mit der Fovea identifizierte und auf bloss 0,24—0,3 mm bezw. 55—70′ schätzte, beim Totalfarbenblinden völlig blind sein müsse, und hatte im Gesichtsfelde eines solchen Falles „dicht an der rechten Seite des Fixationspunktes eine selbst für hellleuchtende kleine weisse Flächen blinde Stelle“ angegeben (101, S. 577).

Dass diese Stelle sehr klein gewesen sein muss, erhellt aus der späteren genaueren Angabe (160, S. 426): „Bei Benützung fast punktförmiger Schnitzelchen weissen Papiers (beliebig stark beleuchtet) auf schwarzem Sammtgrund gelang es fast regelmässig, eines derselben mit einer berussten Nadel so zu

verschieben, dass der Totalfarbenblinde dasselbe für einige Augenblicke nicht sah, wohl aber die dicht dabei liegenden anderen Schnitzelchen."

Zu der analogen Vorstellung, dass beim „Monochromaten" lediglich „Mangel oder Funktionsunfähigkeit des Zapfenapparates vorliege" (162, S. 696) und derselbe „nur mit seinen Stäbchen sehe" (103), war J. v. Kries zur selben Zeit aus theoretischen Gründen gekommen.

Im Gegensatze zu dem Königschen Falle boten drei Totalfarbenblinde, welche Hess und Hering (48) (den einen auch E. Pflüger [173]) untersuchten, keine lokale Anomalie des centralen Sehens verglichen mit dem indirekten, weder ein absolutes noch ein relatives Skotom (natürlich im Helladaptationszustande — im Dunkeladaptationszustande ist ein „relatives Centralskotom" ja normal!). Der von den Genannten am eingehendsten untersuchte (Hippelsche) Fall F. (155) konnte z. B. ein weisses Scheibchen von 2 mm Durchmesser auf schwarzem Grunde in 2 Meter Entfernung längere Zeit mit unbewegtem Auge fixieren: der blinde Fleck liess sich in typischer Lage und Ausdehnung abgrenzen, fünf in Kreuzform (1 cm Abstand von einander) geordnete weisse Scheiben (2 mm auf 45 cm Distanz) blieben bei wechselnder Fixation dauernd sichtbar (48, S. 114—115). Bei Dunkeladaptation (48, S. 116) wurde eine solche schwach durchleuchtete Lochgruppe (5 mm, 20 mm gegenseitiger Abstand, 130 cm Beobachtungsabstand, also 19′, 1° 15′, Gruppe 2° 25′ Netzhautfläche) oder eine solche Gruppe weisser Scheibchen oder eine solche schwarzer Punkte auf grauem Grunde dem Totalfarbenblinden nach einer gewissen Zeit sichtbar wie dem Farbentüchtigen, sie erschien ebenso im indirekten Sehen heller als direkt, desgleichen erschien der jeweils fixierte Punkt dunkler und undeutlicher als die übrigen — ja bei sehr geringer Beleuchtung verschwand er. Dieser Befund wurde für Tageslicht, Lampenlicht, aber auch rotes Glaslicht erhoben (48, S. 119). Dieser Nachweis eines centralen Bezirkes geringerer Empfindlichkeit im dunkeladaptierten Auge des Totalfarbenblinden in voller Analogie zum Verhalten des dunkeladaptierten Farbentüchtigen ist, wie später darzulegen sein wird, von ganz besonderer Bedeutung für die Theorie vom Sehen des Totalfarbenblinden verglichen mit dem Sehen des Farbentüchtigen. — Endlich wurde die Makula entoptisch mittelst eines blauen Glases sichtbar gemacht, ebenso die Abhängigkeit spektraler Gleichungen von der Feldgrösse (nach Herings Vorgang) festgestellt: bei Gelblichrot = Blau wird die letztere Hälfte bei Feldverkleinerung zu dunkel. — Ferner ergab sich eine dem Verhalten des Normalen analoge Erscheinungsweise des Simultankontrastes (schwachdurchleuchtetes Loch auf hellem oder dunklem Grunde) und des Successivkontrastes (negative Nachbilder nach längerem Fixieren), sowie der Unterschiedsempfindlichkeit (48, S. 124—125). — Ein analoges Verhalten der Netzhautteile bei Dunkeladaptation, nämlich Mindererregbarkeit der centralen

Partien, sowie Sehtüchtigkeit des Netzhautcentrums hat C. Hess (152) in einem weiteren Falle festgestellt. Zur Entscheidung über Vorhandensein oder Fehlen eines Centralskotoms bediente er sich dabei einer neuen Methode ohne Fixationszwang, deren Ergebnis durch den bei Totalfarbenblinden gewöhnlich vorhandenen Nystagmus (neben Lichtscheu) nicht beeinträchtigt wird (152, S. 225 ff.): Momentansichtbarmachen — mittelst photographischen Momentverschlusses — eines siebartig durchlochten und durchleuchteten Schirmes (je 8 bezw. 4 mm Lochdurchmesser bei 10 bezw. 5 mm Abstand). Ein absolutes Skotom müsste sich durch einen lokalen Ausfall im Lochmuster, sowohl im ersten Eindrucke wie günstigenfalls im Nachbilde verraten (Kontrolle durch Verdecken einzelner Löcher). In dem beschriebenen Falle liess sich im Vor- wie im Nachbilde ein centraler oder paracentraler Gesichtsfelddefekt mit Sicherheit ausschliessen.

Auf der anderen Seite ist Uhthoff (182) für das Bestehen eines relativen centralen Skotoms von 1^0 30′ oder 0,39 mm (also ganz erheblich kleiner als der stäbchenfreie Bezirk nach Koster: 3^0 3′ oder 0,8 mm) bei einem Falle von angeborener Totalfarbenblindheit eingetreten und zwar nicht bloss im Dunkeladaptationszustand wie beim normalen (siehe Kap. II), sondern auch im Helladaptationszustande (182, S. 332) und in einer von verschiedenen Beleuchtungsgraden nicht abhängigen Ausdehnung. Bei Festhalten des Blickes (Nystagmus!) durch ein ringförmiges Fixationszeichen wurden schwarze Punkte auf weissem Grunde in Perimeterentfernung bei einem Durchmesser unter 1 mm nicht wahrgenommen. — Bezüglich der Farbengleichungen und der Helligkeitsverteilung im Spektrum (Maximum um 530) wurde das bekannte Verhalten im Vergleich zum dunkeladaptierten farbentüchtigen Auge bestätigt.

Ein neues Datum stellt die auf Vorschlag von Ebbinghaus unternommene Beobachtung dar, dass die farblose Gleichung des Farbentüchtigen zwischen rotem mit blaugrünem Spektrallichte und blauem mit gelbem vom Totalfarbenblinden nicht anerkannt, vielmehr eine Reduktion der Intensität des ersteren Halbfeldes auf $^1/_5$ gefordert wurde (182, S. 338). — Es wurde ferner relativ rascherer Verlauf und beträchtliche Grösse (wie beim Farbentüchtigen relativ central geringer als relativ excentrisch) der Dunkeladaptation des Totalfarbenblinden verglichen mit zwei Farbentüchtigen (182, S. 339), relativ geringere Unterschiedsempfindlichkeit im Helladaptationszustande und bei voller Beleuchtung, relativ bessere im Dunkeladaptationszustand und bei schwacher Beleuchtung konstatiert.

Hingegen fand A. v. Hippel (156) in einem weiteren Falle den blinden Fleck in typischer Lage, an der Punktfigur nach Hess und Hering kein centrales Skotom, bei Dunkeladaptation centrale Minderempfindlichkeit — auch für rotes Licht; Helligkeitsmaximum im Sonnenspektrum bei 510, Verkürzung bis 685, Abhängigkeit von Spektralgleichungen z. B. 653=472 mμ

von der Feldgrösse, Unterschiedsempfindlichkeit für Helligkeit, Simultan- und Successivkontrast normal. An demselben Falle konstatierte E. Dorn (31a, bestätigt von Uhthoff [183, S. 356]) bei dunkeladaptiertem Auge blosse centrale Minderempfindlichkeit für Röntgenstrahlen im Gegensatze zur Unempfindlichkeit entsprechend dem blinden Fleck — eine volle Analogie zum Farbentüchtigen. — Auch E. Pflüger (173) konnte an einem später auch von Hess und Hering (48) untersuchtem Falle mit verkürztem Tageslicht-Spektrum (bis 658 und 438) und Maximum bei 560 m μ mit central normaler, peripher übernormaler Dunkeladaptation und central übernormaler Unterschiedsempfindlichkeit kein Centralskotom nachweisen, der blinde Fleck war in normaler Lage, die Makula entoptisch zu konstatieren, der Fundus normal. Im dunkeladaptierten Auge bestand central Minderempfindlichkeit, auch für rotes Licht. Die „farblosen" Helligkeitsgleichungen (Pigmente) für das stark indirekte Sehen des helladaptierten Normalen stimmen nicht für das hell- oder dunkeladaptierte Auge der Totalfarbenblinden, ebensowenig für den dunkeladaptierten Farbentüchtigen. „Die Wahrscheinlichkeit ist gross, dass die (relativen) Hell- und die Dämmerungswerte für die Totalfarbenblinden in Wirklichkeit übereinstimmen" (173, S. 178.)

Die Angabe von König und Uhthoff bezüglich Bestehens eines kleinen paracentralen bezw. centralen Skotoms in je einem Falle erfuhr seitens Abney, Uhthoff, Axenfeld in je einem weiteren Falle Bestätigung (Nagel [171]).

Ebenso fand W. Nagel (171) in einem Falle (rechtes Auge Myopie von 7 D, linkes Fingerzählen auf 1 Meter) ein absolutes Skotom von etwa 2° Durchmesser in beiden Augen rechts vom Fixationspunkte, also nicht symmetrisch, sondern kongruent gelegen: der Augenhintergrund wies in der Makulagegend einen runden, ziemlich scharf begrenzten, papillengrossen (etwa 6°), rötlichgelben Fleck auf, bei Fixation geradeaus wird vom rechten Auge eine etwas temporal von diesem Fleck gelegene Netzhautstelle eingestellt: nach Nagels Ansicht entspricht dieselbe nicht der Fovea, sondern einer paracentralen Partie (171, S. 159), auch habe „die Auffassung des Skotoms als bedingt durch die Fundusveränderung bezw. die starke Myopie wenig für sich."

Zur Frage des Centralskotoms bezw. des fovealen Sehens der Totalfarbenblinden liegen endlich aus letzter Zeit zwei weitere Beobachtungsreihen von Uhthoff (183) und C. Hess (153) vor. Uhthoff fand in Fall I den blinden Fleck im Gesichtsfelde beiderseits um 5° medial verschoben und ein kleines absolutes Skotom beiderseits medial vom Fixationspunkte: im R.A. knapp neben demselben rund, von 3° Durchmesser, im L.A. 3° medial vom Fixationspunkt, längsoval, von 5° Ausdehnung (geprüft mit Weissquadrat auf Schwarzgrund). Geschwindigkeit und Grösse der Dunkeladaptation, Unterschiedsempfindlichkeit für Helligkeit war etwas geringer als beim Normalen.

J. v. Kries,

Über die Wahrnehmung des Flimmerns durch normale und durch total farbenblinde Personen. Zeitschr. f. Ps. d. S.O. Bd. 32. S. 113 – 117. 1903

Zur [illegible] braucht das normale Auge eine viel raschere period. Reizung zum Aufhören des Flimmerns als das Totalfarbenblinde. (von Uhthoff beobachtet.)

Die Gegend der Fovea stellt beiderseits einen hellgelbrötlichen Fleck von etwa halber Papillengrösse dar, ist hell und schwarz chagrainiert (Pigmentatrophie): Uhthoff betrachtet die paracentralen Gesichtsfelddefekte als den Foveae entsprechend. — Fall II mit übernormaler Adaptationsgeschwindigkeit zeigte den blinden Fleck beiderseits um 5° zu weit lateral: ein Centralskotom war nicht nachzuweisen (jedoch starker Nystagmus!): beiderseits erschien die Foveagegend deutlich marmoriert. — Fall III (identisch mit A. v. Hippels Fall II [156]) mit übernormaler Adaptationsgeschwindigkeit ergab „bei mässig herabgesetzter Beleuchtung“ (50 Meterkerzen), seinem Optimum der Sehschärfe, um den Fixationspunkt ein sicher nur relatives centrales Skotom, längsoval, von ca. 3°. Bei der Hess-Heringschen Punktprobe erschien in 23 cm Entfernung ein Raum von 1 cm² unklarer als die Umgebung. Diese centrale Undeutlichkeit findet Uhthoff nicht bloss im dunkeladaptierten Zustande (wie A. v. Hippel [156]), sondern auch für das helladaptierte Auge. Es wurden „keine direkt pathologischen Veränderungen“ in der Foveagegend gefunden.

C. Hess (153) untersuchte 5 Fälle mit seiner Momentanbelichtungsmethode (152) und konnte bei allen einen centralen oder paracentralen Gesichtsfelddefekt mit Sicherheit ausschliessen. Im dunkeladaptierten Auge bestand — mit Punktfigur und ev. rotem Lichte nach Hess und Hering geprüft — Minderempfindlichkeit des Centrums: im helladaptierten Auge war eine solche nicht nachzuweisen (Fall I—IV untersucht). In Fall I fand sich ophthalmoskopisch temporal von der Papille ein ca. 6—8 Papillendurchmesser grosser, hellgelbrötlicher Herd, von Pigment eingesäumt; in Fall II bot die Makulagegend des einen Auges eine papillengrosse, hellere, unscharf begrenzte Stelle mit einigen hellglänzenden Pünktchen: im anderen Auge nur solch letztere. Fall III ohne abnormen Befund, in Fall V stark marmorierter Hintergrund mit einigen kleinen, hellen Herdchen.

Es ist demnach, zusammengefasst, für 6 bezw. 7 Fälle von totaler Farbenblindheit ein paracentrales bezw. centrales Skotom angegeben worden (König [101, 160], Uhthoff [182 — relativ, central], Abney, Axenfeld, Nagel [171], Uhthoff [183 — ein Fall absolut, einer relativ]), in 10 bezw. 11 Fällen fand sich kein solches (J. v. Kries und Nagel [164, 171], Hess und Hering [48], A. v. Hippel [156], E. Pflüger [173], Uhthoff [183, Fall II; Fall III relatives centrales Skotom], Hess [152 und 153]). Angesichts des sicheren Nachweises fovealer Sehtüchtigkeit bei einer ganzen Reihe von Totalfarbenblinden erscheint mir der Befund eines paracentralen bezw. centralen Skotoms in mehreren Fällen von Totalfarbenblindheit, teilweise mit festgestellten Veränderungen des Augenhintergrundes, theoretisch weniger bedeutsam als der Nachweis einer vollen Analogie des Totalfarbenblinden und des Farbentüchtigen bezüglich der lokalen Erregbarkeitsdifferenzen im Dunkeladaptationszustande in den Fällen ohne Störung

speziell des centralen Sehens (Hering und Hess [48], A. v. Hippel [156], E. Pflüger [173], Hess [152 u. 153]). (Bezüglich des Verhaltens der Nachbilder nach Momentreizung und der Sehschärfe bei Totalfarbenblinden sei auf Kap. VI und VII verwiesen.)

VI. Über die Bedeutung der Netzhautstelle und des Adaptationszustandes für die Nachbilder nach kurzdauernder Reizung beim Farbentüchtigen und beim Totalfarbenblinden.

Litteratur:

185. Allen. F., Effects upon the persistence of vision of exposing the eye to light of various wave-lengths. Physical Review. Bd. 11. S. 257. 1900.
186. Bidwell, S., On certain spectral images produced by a rotating vacuum tube. Nature. Vol. 32. S. 30. 1885 and On the recurrent images following visual impressions. Proceed. R. S. June. 1894. Vol. 56. S. 132.
187. Bosscha, H. P., Primäre, sekundäre und tertiäre Nachbilder nach momentanen Lichteindrücken. Arch. f. Ophth. Bd. 40. II. S. 22 und Acad. Proefschr. Utrecht. 1893. Vgl. auch: Snellen, Über Nachbilder. Ber. d. 23. Vers. der ophth. Ges. zu Heidelberg. 1893 und Notes on vision and retinal perception. Bowman lecture. 1896.
188. Charpentier, A., Oscillations rétinniennes. C. R. de l'ac. fr. Bd. 113. S. 147. 1891. 27. Juli. — Vgl. C. R. de la soc. de Biol. 10., 17. Mai 1890 und 16., 23., 30. Mai 1891.
189. — — Réaction oscillatoire de la rétine sous l'influence des excitations lumineuses. Arch. de phys. 1892. S. 541. Bd. 24.
190. — — Propagation à distance de la réaction oscillatoire de la rétine. Arch. de phys. 1892. S. 629. Bd. 24.
191. Davis, A. S, On recurrent vision. Philos. Mag. 1872. Bd. 44. S. 526.
192. Ellis, F. W., Studies in the physiology and psychology of visual sensations and perceptions. Am. Journ. of phys. Vol. V. Nr. 7. S. 462. 1901.
193. Exner, S., Über den Erregungsvorgang im Sehnervenapparate. Wien. Sitzber. Bd. 65. III. Abt. S. 59. 1872.
194. Franz, After images. The psychol. Review. 1899. June.
195. Hamaker, H. C, Über Nachbilder nach momentaner Helligkeit. Zeitschr. f. Psych. u. Phys. d. S. O. Bd. XXI. S. 1. 1899 und Over Nabeelden. Acad. Proefschr. Utrecht. 1899.
196. Hess, C., Untersuchungen über die nach kurzdauernder Reizung des Sehorgans auftretenden Nachbilder. Pflügers Arch. Bd. 49. S. 190. 1891.
197. — — Studien über Nachbilder. Arch. f. Ophth. Bd. 40. II. S. 259. 1894.
198. — — Experimentelle und kritische Untersuchungen über die Nachbilder rasch bewegter leuchtenden Punkte. Arch. f. Ophth. Bd. 44. III. S. 445. 1897.
199. — — Über den Ablauf des Erregungsvorganges nach kurzdauernder Reizung des Sehorgans beim Normalen und beim total Farbenblinden. Arch. f. Ophth. Bd. 51. II. S. 225. 1900.
200. — — Zur Kenntnis des Ablaufes der Erregung im Sehorgan. Zeitschr. f. Psych. u. Phys. d. S. O. Bd. 27. S. 1. 1901.
201. — — Bemerkungen zur Lehre von den Nachbildern und der totalen Farbenblindheit. Arch. f. Augenheilk. Bd. 44. III. S. 245. 1901.
202. Kries, J. v., Über die Wirkung kurzdauernder Lichtreize auf das Sehorgan. Zeitschr. f. Psych. u. Phys. d. S. O. Bd. 12. S. 81. 1896.
203. — — Kritische Bemerkungen zur Farbentheorie. Zeitschr. f. Psych. u. Phys. d. S. O. Bd. 19. S. 175. 1899.
204. — — Über die Wirkung kurzdauernder Reize auf das Sehorgan. Zeitschr. f. Psych. u. Phys. Bd. 25. S. 239. 1901.

C. Hess, Bemerkung zu der Abh. von Bosscha.

205. Kries, J. v., Über die im Netzhautcentrum fehlenden Nachbilderscheinungen und über die diesen Gegenstand betreffenden Arbeiten von C. Hess. Zeitschr. f. Psych. u. Phys. d. S. O. Bd. 29. S. 81. 1902.
206. Munk, H., Die Erscheinungen bei kurzer Reizung des Sehorgans. Zeitschr. f. Psych. u. Phys. d. S. O. Bd. 23. S. 60. 1901.
207. Nagel, W. A., Über die Wirkung des Santonins auf den Farbensinn, insbesondere den dichromatischen Farbensinn. Zeitschr. f. Psych. u. Phys. d. S. O. Bd. 27. 1901. S. 267.
208. Samojloff, A, Zur Kenntnis der nachlaufenden Bilder. Zeitschr. f. Psych. u. Phys. d. S. O. Bd. 20. S. 118. 1899.
209. Young, C. A., Note on recurrent vision. Nature V. S. 512, Philos. Mag. Bd. 43. S. 343, Sill. Journal. Bd. 3. S. 262. 1872.

Von Purkinje (74, Kap. X, Nr. 10, S. 110 und Fig. 34 auf Tafel II) stammt die Angabe, dass im Dunkeln eine im Kreise bewegte, rotglühende Kohle hinter sich zunächst ein rotes Band, dann ein dunkles Intervall, hierauf nachlaufend ein grünes Band, endlich eine schwarze, von grauem Nebel umgebene Furche erscheinen lasse. Nach der Bestätigung seitens S. Exner (193) Young (209) und Davis (191) (welch letzterer jedoch das Fehlen der sogen. recurrent vision bei Anwendung roten Lichtes angab), ferner Laurin und Newall fand der Ablauf der Erregung nach kurzdauernder Reizung durch C. Hess ein genaueres Studium. Derselbe prüfte systematisch zuerst (1891, 196) die Erscheinungen bei unbewegter Lichtquelle, dann (1894, 197) erwies er die Nachbilder rasch bewegter leuchtender Punkte als damit vollkommen übereinstimmend. Er beschrieb als dem Objekte unmittelbar folgend eine kurze helle Phase bezw. Linie von gleicher Farbe (Nachdauer der Erregung), hierauf eine etwas längere komplementär gefärbte und minder helle Phase bezw. Strecke, weiters ein kürzeres dunkles Intervall, endlich eine mehrere Sekunden anhaltende helle Phase bezw. einen langen Streifen von anfangs gleicher Farbe wie das Reizlicht, doch sehr bald zur Farblosigkeit abblassend. Bei rotem Reizlichte ist die letztere Phase im allgemeinen weniger hell, aber bei nicht zu geringer Lichtstärke deutlich. Die Farbenbezeichnungen wurden durch binokulare Vergleichung verifiziert (197, S. 272).

Bidwell (186) hingegen bezeichnete das nach $^1/_4$—$^1/_5$″ nachlaufende Bild („ghost-image") nach momentaner Reizung mit homogenen Lichtern als „gewöhnlich violett" und unmittelbar gefolgt von einem langanhaltenden leuchtenden („phosphorescierenden") Schweife. Bei Anwendung roten oder violetten Lichtes fehle die „recurrent vision". — Snellen und Bosscha (186) bestätigten im wesentlichen die Phasensuccession, wie sie C. Hess geschildert, sie unterscheiden das primäre, das sekundäre (ihnen farblos erscheinende) und das tertiäre Bild.

Die Angaben von A. Charpentier (188, 189, 190) über einen Wechsel von hellen und dunklen Phasen von abnehmender Differenz, sogen. Oscillationen nach starker Reizung, beziehen sich auf das Stadium der Nachdauer der Erregung (Phase I). Der genannte Untersucher erhielt beim Betrachten eines rotierenden hellweissen Sektors auf schwarzem Grunde zuerst einen hellen, aber schon

$^1/_{60}$—$^1/_{70}$ Sekunde nach Beginn der Reizung einen schwarzen, ebenso lang anhaltenden Eindruck („phénomène de la bande noire"), der von weiteren hellen und dunklen Eindrücken (z. B. 3 + 2) in abnehmender Differenz gefolgt sein kann. Charpentier betrachtet diese „cannelures dans l'image persistante" als Ausdruck von Oscillationen der Netzhauterregung in der Frequenz 30 bis 35 pro Sekunde. — Die Beobachtung Charpentiers von „dédoublement de la sensation lumineuse" am elektrischen Funken bezieht sich wohl auf das Purkinjesche Nachbild (Phase III): diese Erscheinung sei im indirekten Sehen leichter zu beobachten, bestehe ader auch im centralen, ebenso bei Betrachtung durch farbiges Glas, speziell rotes (189, S. 545).

Die genannten Erscheinungen gewannen dadurch auch für die hier behandelten Probleme spezielle Bedeutung, dass J. v. Kries (103 und 57, S. 112, Kap. V), nach dem Vorgange von Davis und Bidwell das Fehlen des nachlaufenden Bildes bei Anwendung roten Lichtes, ein Fehlen (Überspringen) desselben auf einem kleinen centralen Bezirke (104, Kap. IV, S. 95) und sein Ausfallen nach längerer Dunkeladaptation (mindestens 2 h Lichtabschluss) behauptete (202).

Zuerst (1894 [103]) hatte sich J. v. Kries — bei hoher Lichtstärke — „nur einigemal von der Existenz eines dunklen Intervalls zwischen der primären und der sekundären Helligkeit überzeugen können, während S. Exner (193) ein solches nicht gesehen, Purkinje und andere Autoren es als regelmässig vorhanden angeben" (57, S. 114). 1896 bestätigte er die letztere Beobachtung bei Wahl geeigneter Lichtstärken und „bei Rücksichtnahme auf den Adaptationszustand" (57, S. 114). — Bei rein rotem Lichte fehledie Erscheinung völlig (103, S. 8). Bezüglich des Einflusses der Dunkeladaptation bezeichnete es J. v. Kries 1894 (103) als „einen ihm von früherer Beobachtung geläufigen Umstand, dass das Phänomen bei dunkeladaptiertem Auge bei weitem am schönsten zu sehen sei". Er beschrieb 1894 (104, S. 95) und 1896 das nachlaufende Bild als „einen längeren farblosen oder schwach komplementär gefärbten Schweif, welcher durch ein Intervall bis $^1/_5{}''$ bezw. 40—50° bei Kreislauf in $1^1/_2{}''$ von der primären Erregung getrennt ist". Im stark indirekten Sehen sei der Schweif merklich verlängert. — Die Beobachtungen von v. Kries beziehen sich nach der späteren Erklärung von C. Hess (199, S. 320), derzufolge die rasche Aufeinanderfolge der Reizungen bei J. v. Kries ($1^1/_2$—2 Sekunden) eine Beobachtung des ganzen Nachbildverlaufes unmöglich machte, nur auf die komplementär gefärbte Phase (III); C. Hess hatte dieselbe zunächst (1891, 1894, 1897, [196, 197, 198]) als der nachdauernden primären Erregung unmittelbar folgend beschrieben, später (1900 [199]) aber unter geeigneten Umständen als durch ein sehr kurzes dunkles Intervall getrennt erkannt, gleich Purkinje, Young, Davis, Bosscha und J. v. Kries (1894 [103] und 1896 [104], für das helladaptierte Auge).

In einer weiteren Mitteilung (202), welcher Versuche mit einem bewegten Flecke von spektralem oder Glaslicht zu Grunde liegen, berichtet J. v. Kries

genauer über das von ihm angegebene Fehlen (Überspringen, Tunnel) der in Frage stehenden Nachbildphase in einem centralen Bezirk. Das Netzhautcentrum war dabei dauernd durch einen schwachen Fixationslichtpunkt (Gasflämmchen hinter Milchglas [202, S. 84], später [204, S. 241] benützte J. v. Kries ein rotes Fixierlicht) gereizt und es waren Bedingungen gewählt, unter denen sonst „das betreffende Nachbild gut entwickelt und vom primären Bilde durch ein möglichst langes Intervall getrennt" erschien (202, S. 85). Zur messenden Bestimmung des Verschwindungsbezirkes wurde eine Vorrichtung benützt, welche bei dauernder Sichtbarkeit des Fixierlichtes alle 1,5—2″ das ruhende Reizlicht sichtbar machte: die verschiedene Excentricität der Reizstelle wurde in den Versuchen von J. v. Kries durch Änderung des Beobachtungsabstandes unter gleichzeitiger Grössenänderung der Reizfläche erreicht (202, S. 86; vgl. hierzu die Kritik bei C. Hess [198, S. 454]), in den Beobachtungen von Pertz (202, S. 87) geschah dies durch Verschiebung des fixierten Lichtpunktes. J. v. Kries fand einen Bezirk von 0,825 mm bezw. 3° 9′ horizontalem, 0,705 mm bezw. 2° 41′ vertikalem Durchmesser, Pertz einen solchen asymmetrisch um den Fixationspunkt gelegenen von 0,33 + 0,23 = 0,56 mm bezw. 2° 8′ (0,31 + 0,21 = 0,52 bezw. 1° 59′) horizontalem Durchmesser. — Die beschriebene Erscheinungsweise der beobachteten Nachbildphase (III) war bei höherer Lichtstärke schon nach Momentandunkeladaptation, bei geringerer Lichtstärke schon nach 1—2′ Lichtabschluss zu konstatieren, und zwar zunächst mit zunehmender Deutlichkeit, vorne wie seitlich von einem tiefschwarzen Hofe (Bidwell) umgeben. Dabei war die Färbung nahezu komplementär, das dunkle Intervall währte bis zu $^1/_4$″. Bei sehr hoher Lichtstärke war das primäre Bild in die Länge gezogen, das sekundäre ihm direkt angeschlossen (Exner [193], J. v. Kries 1894 [103]) und zu einem langen Schweife ausgezogen. — Bei fortschreitender Dunkeladaptation entwickle sich in unmittelbarem Anschlusse an das primäre Bild ein glänzend weisser Streifen, während das sekundäre Bild zunächst noch sichtbar sei. Endlich aber, nach mindestens zweistündigem Lichtabschlusse komme das letztere ganz in Wegfall (202, S. 96, 92): der weisse Streifen sei oft kürzer als das frühere dunkle Intervall und fehle für rotes Licht sowie in einem centralen Bezirke (202, S. 92, 93). Eine total Farbenblinde und ein Hemeralop konnten „die nachlaufenden Bilder" überhaupt nicht wahrnehmen, wohl aber der sogen. Grünblinde Nagel (202, S. 99). Ein ähnliches Verhalten („Recurrent vision, wenn nicht schlechthin fehlend, so doch in äusserstem Masse beinträchtigt") zeigte ein später untersuchter zweiter Fall von Hemeralopie (203, S. 185, Anm. 1).

Den Angaben von J. v. Kries stellte C. Hess 1897 (198) neue Versuche entgegen. Zunächst konstatierte er neuerlich die Farbenübereinstimmung zwischen Reizlicht bezw. erster Phase (Nachdauer der Erregung) und dem sekundären oder positiven Nachbilde, sowie die komplementäre Färbung des

zweiten, von dem sekundären Nachbilde durch ein dunkles Intervall getrennten Eindruckes, also des primären Nachbildes, indem er nur den mittleren Teil der Bahn eines angenähert farblosen Glühlämpchens hinter einem Streifen farbigen Glases vorbeigehen liess (198, Kap. IV, S. 468). Dasselbe ergab sich speziell auch für rotes Glaslicht, Strahlungen über 623 mμ Wellenlänge (198, S. 467). Das Bestehen des sekundären positiven Nachbildes — auf welches Hess damals (1897, 198, S. 452, 468; dagegen 1900, 199, S. 230) die Angaben von J. v. Kries bezog — auch im Netzhautcentrum bezw. im stäbchenfreien Bezirke (198, S. 460) wurde unter Vermeidung von vorhergehender und nachfolgender Lichtreizung desselben erwiesen, indem die Mitte zwischen zwei Punkten aus Leuchtfarbe fixiert wurde und unterdessen daselbst, sowie seitlich daneben (zum Vergleich) je eine beleuchtete Scheibe momentan sichtbar gemacht wurde. Auch bei Bewegung einer Lichtquelle zwischen den beiden Punkten hindurch war keine Unterbrechung des Nachbildstreifens für das Netzhautcentrum zu bemerken. Das andere Mal ward ein Ring aus Leuchtfarbe (5—6 cm auf 10—50 cm Abstand) benützt und dann innerhalb desselben eine Anzahl kleiner heller Scheibchen von je 3 mm Durchmesser und Distanz momentan sichtbar gemacht. Die Nachbildreaktion (Erregungsnachdauer, negative Phase, sekundäres positives Nachbild) verläuft an den verschiedenen Netzhautstellen für sehr verschiedene Stufen farblosen wie farbigen Lichtes, speziell aber für mittlere und mässige, selbst für geringstmögliche Lichtstärken (bei sehr hohen konnte sich der Ablauf der Erscheinungen durch Blendung anders gestalten), in durchaus gleichem Sinne. — Der störende Einfluss einer schon vorhergehenden oder nachfolgenden Lichtreizung der zu prüfenden Netzhautstelle, wie sie bei Benützung eines dauernd sichtbaren hellen Fixierzeichens gegeben ist, wurde in besonderen Versuchen nachgewiesen: durch den Einfluss eines Lichtpunktes lasse sich die Erscheinung des „Überspringens“ des Nachbildes auch an extrafovealen Stellen hervorrufen (198, S. 459). Auch kommen zu kurze Pausen (bei J. v. Kries 1,5—2″, nach Hess mindestens 15—20″) und allzu beschränkte Feldgrösse des Reizlichtes, bei dunkeladaptiertem Auge auch eine der gesteigerten Empfindlichkeit nicht entsprechend geminderte Intensität des Reizlichtes als Fehlerquellen in Betracht (198, S. 454). — Bei Dunkeladaptation, selbst nach der Nachtruhe fand Hess den Typus des Abklingens der Nachbilder (speziell das Verhalten der gegenfarbigen hellen Nachbildstrecke: Phase III) im Centrum wie im indirekten Sehen unverändert, nur die Farbenerscheinungen von viel geringerer Sättigung (195, Kap. V, S. 468).

H. C. Hamaker (195) beschrieb in Bestätigung von C. Hess und unter Verwendung von ruhenden wie bewegten Spektrallichtern das etwa 1/3″ dauernde sekundäre Bild (primäre Nachbild) als komplementär gefärbt[1]), das mehrere

[1]) Mitunter auch bei homogenem roten Licht (Linie C) vorhanden (195, S. 15); Färbung allerdings nicht immer komplementär z. B. rot bei Blaulicht (S. 4), ferner ein fragliches purpurnes Sekundärbild im indirekten Sehen bei rotem Reizlichte (S. 21).

Sekunden anhaltende tertiäre Bild (sekundäre Nachbild) als gleichfarbig. Dunkeladaptation (Lichtabschluss von 20′, Pausen 5′) hatte keinen eingreifenden Einfluss; das sekundäre Bild war für sämtliche Lichter besser wahrnehmbar, die Färbung des tertiären für Rot und Gelb deutlicher, für Grün und Blau undeutlicher (195, S. 14). Der genannte Untersucher unterschied in den Versuchen mit ruhender Lichtquelle prinzipiell sieben Phasen: das primäre Bild, erstes dunkles Intervall (sehr oft fehlend), das sekundäre Bild, zweites dunkles Intervall (1/2″), das tertiäre Bild, drittes dunkles Intervall (sehr oft fehlend), endlich bei 1″—4″ Reizdauer ein quaternäres Bild, ein „wirkliches negatives Nachbild", dunkel mit hellem Hofe und komplementärer Färbung, zugleich Verkürzung des tertiären Bildes (195, S. 9, 35). — Bezüglich des Verhaltens der verschiedenen Netzhautteile gab Hamaker an, dass ein besonders deutlich komplementäres sekundäres Bild bei rotem und grünem ruhenden Reizlichte auch im Netzhautcentrum, jedoch von kürzerer Dauer, wahrnehmbar sei, für Gelb und Blau jedoch foveal fehle (S. 20); ein tertiäres Bild fehle im Centrum überhaupt (S. 21). Bei bewegtem Reizlichte zeige das Centrum gar kein sekundäres und anscheinend auch kein tertiäres Bild (S. 27); der zum Fixieren benützte Lichtpunkt störe im indirekten Sehen nicht. — In den Versuchen mit bewegter Lichtquelle werden sechs Phasen beschrieben: ein Ausgezogensein des primären Bildes (z. B. 3°) in einen oft gleichfarbigen, mitunter hellweissen kurzen Schweif (6°), dann ein deutliches erstes dunkles Intervall (10 bis 15°), das komplementäre bis farblose sekundäre Bild (sogen. Satellit, 3° — fehle bei rotem Lichte [S. 25]), ein zweites dunkles Intervall (50°), das schwach gleichfarbige tertiäre Bild (ca. 360°).

Unter der Leitung von J. v. Kries führte A. Samojloff (208) eine nochmalige Untersuchung des nachlaufenden Bildes bei bewegter Lichtquelle aus. Er verwendete dabei sehr kurze Reizpausen (1,5″). Die Farbe des nach einem dunklen Trennungsintervalle nachlaufenden Bildes fand er z. B. bei gleichzeitiger Benützung eines gelben und eines blauen Pigmentlichtes „komplementär" (genauer: durch Blauaddition modifiziert) gefärbt — in Übereinstimmung mit bezüglichen älteren Angaben, speziell von J. v. Kries. Unter Benützung eines schwachen Fixierlichtes bestätigte Samojloff auch das von J. v. Kries angegebene Fehlen des nachlaufenden Bildes in einem centralen Bezirke und bestimmte dessen Ausmass auf rund 3° (1° 21′ oder 0,353 mm medial, 1° 38′ oder 0,428 mm lateral): über einen zweiten, excentrischen Lichtpunkt laufe das Bild hingegen ohne Unterbrechung hinweg.

In einer weiteren Mitteilung unterschied C. Hess (199) noch genauer sechs Phasen des Nachbildverlaufes nach kurzdauernder farbiger Reizung: 1. Phase: Nachdauer der Erregung, 2. ein sehr kurzes dunkles Intervall, 3. ein kurzdauerndes zum Reizlichte im allgemeinen gegenfarbiges Nachbild, heller als die Umgebung, 4. ein länger dauerndes dunkles Intervall, 5. ein länger, mehrere Sekunden anhaltendes, dem Reizlichte gleichgefärbtes, wenig

sattes Nachbild, heller als die Umgebung, 6. ein länger, mehrere Sekunden dauerndes dunkles Nachbild — erst kurze Zeit nach Phase V deutlich. Die dunklen Phasen II, IV, VI werden hier besonders betont. — Hatte Hess früher speziell das Bestehen der auffallendsten und am längsten dauernden, gleichfarbigen Phase V auch für rotes Licht, im stäbchenfreien Bezirk und bei Dunkeladaptation (ebensolches für Phase III) dargethan, so zeigte er nunmehr nochmals gesondert das gleiche für die komplementär gefärbte Phase III, auf welche allein — wie Hess nunmehr erklärt (199, S. 230) — sich die Beobachtungen von J. v. Kries und Samojloff beziehen. Bei Anwendung roten Lichtes von genügender Stärke war auch Phase III ganz deutlich (S. 246); bei sehr gesättigt rotem Reizlichte höherer Stärke war diese Phase wiederholt gleichfarbig, statt gegenfarbig (199, S. 246; vgl. 201, S. 250).

Das Bestehen speziell der Phase III, ebenso nochmals der Phase V (199, S. 244), auch im stäbchenfreien Bezirk erweist Hess aus der Kontinuität eines ausgedehnt flächenhaften Nachbildes, aus der Kontinuität eines Musternachbildes (Scheibchenmuster), aus der Kontinuität eines über das Netzhautcentrum gleitenden Nachbildstreifens (die Wahrnehmbarkeit selbst sehr kleiner künstlicher Unterbrechungen im Nachbilde wurde durch besondere Versuche erwiesen [200, S. 10]), ferner aus dem Durchlaufen des Nachbildes durch die fixierte Mitte zwischen zwei extrafovealen Lichtpunkten (199, S. 237—238), endlich aus dem Nachbildablaufe innerhalb des Centralbezirkes, welcher durch ein vorher erzeugtes ringförmiges Nachbild umgrenzt war (199, S. 245). Die centralen Eindrücke sind — in erster Linie durch die langsame und unvollkommene Adaptation des Netzhautcentrums — für das einigermassen dunkeladaptierte Auge schon im Vorbilde, ebenso im Nachbilde etwas weniger hell und deutlich, auch bei Anwendung roten Lichtes (199, S. 239). Auch scheint in vielen Fällen Phase III im fovealen Gebiete etwas später aufzutreten als extrafoveal (199, S. 241; 200, S. 11). — Bei sehr geringer Lichtstärke werden Phase III und V farblos (199, S. 243), doch sind noch alle sechs Phasen wahrzunehmen, schliesslich verschmelzen III und V, doch nimmt der Ablauf der ganzen Nachbildreaktion auch dann noch mehrere Sekunden in Anspruch. — Bei Dunkeladaptation (zweistündiger und längerer Lichtabschluss) fand Hess Phase III deutlich sichtbar und nur wenig länger dauernd als Phase I, allerdings bei nicht zu hoher Lichtstärke (mit Rücksicht auf die gesteigerte Lichtempfindlichkeit des Auges [200, S. 15]); auch der sonstige Ablauf erschien nicht wesentlich geändert, abgesehen von der geringeren Sättigung der Farben.

Bei einer Totalfarbenblinden hatten Hess und Hering (48, S. 126) das Bestehen der langdauernden Phase V festgestellt. Hess fügt nun (199, Kap. IV., S. 248) auf Grund eines neuen Falles hinzu, dass dafür dieselbe Minimallichtstärke genügte wie beim Farbentüchtigen, sowie dass bei passender Lichtstärke auch Phase III und die dunklen Intervalle II, IV,

VI deutlich wahrgenommen wurden (S. 250). Auch foveal wurde speziell Phase V (Kontinuität eines Musternachbildes) sichergestellt. Diese beiden Fälle von Totalfarbenblindheit zeigten also bezüglich der Nachbildreaktion ein dem Normalen durchaus analoges Verhalten.

Dieser Mitteilung von C. Hess (1900, 199) gegenüber hat J. v. Kries (204, vgl. auch 203), der nunmehr ein rotes Fixierlicht benützte (204, S. 241), die Angabe über Fehlen von Phase III in einem gewissen centralen Bezirke aufrechterhalten. Extrafoveal gleite das Nachbild über jene Fixirmarke ohne Unterbrechung hinweg (S. 241). Der genannte Beobachter erklärt, dass für ihn und andere Untersucher bei den von ihm eingehaltenen Bedingungen, speziell bei der angewandten geringen Lichtstärke, der ganze Effekt der momentanen Reizung nur etwa eine halbe Sekunde dauere und die nach Hess noch folgenden Phasen IV, V, VI nicht vorhanden seien. „Bei stärkeren Lichtern sind die Dinge ganz anders" (S. 243). — Die Wirkung der Dunkeladaptation schildert J. v. Kries in dieser Mitteilung nunmehr folgendermassen (S. 242): „Das sekundäre Bild (Phase III) zeigt mit zunehmender Dunkeladaptation beständig zunehmende Länge, ist aber zuerst ganz kurz . . . Nach längerer Dunkeladaptation ist der Schweif so lang, dass die ganze Peripherie mit einem Lichtnebel erfüllt erscheint" (vgl. demgegenüber die früheren Angaben [202, S. 92 u. 96]).

Die von S. J. Franz (194) angestellten Messungen der Zeit zwischen der Lichtreizung und dem Reaktionssignal („Beginn des Nachbildes": 0,5—1,5") entspricht wohl beiläufig dem Intervall bis zu Phase V. Herbert Munk (206) fand gleich Hess u. a. bei ruhender Lichtquelle und farblosem Lichte ein „dreifaches Bild", einen dreischlägigen Effekt: Phase III erschien in einem centralen Bezirke von wechselnder Ausdehnung minder hell, Phase VI unsicher (S. 70). Auch bei sehr geringer Lichtstärke fehlt Phase V nicht (S. 82). Auch für farbige Glas- und Pigmentlichter bestätigte der genannte Untersucher im wesentlichen die Angaben von C. Hess (S. 91): bei sehr sattem Gelb und Rot zeigt Phase III speziell im Centrum gleichnamige Färbung (S. 92). — In gleicher Weise bestätigte F. W. Ellis (192) bei bewegter Lichtquelle das Bestehen der gleichgefärbten Phase V auch für rotes Glaslicht (S. 481).

In einer späteren Mitteilung fügte C. Hess (1901, 200) als neu hinzu die Beobachtung, dass im Gefolge der Unterbrechungsstelle einer am Auge vorüberbewegten Lichtlinie, u. zw. entsprechend dem Ende von Phase II und eventuell auch der Dauer von Phase III, ein mässig helles, angenähert gleichfarbiges Nachbild („Kopf" genannt) erscheint, hierauf entsprechend Phase IV ein heller, zum Reizlicht im allgemeinen gegenfarbiger Streif („Komet" — etwa $^1/_4$—$^1/_2$ nach der primären Reizung der Nachbarschaft beginnend), endlich entsprechend Phase V ein dunkler Streif zu bemerken ist. Diese Erscheinungsform des simultanen Kontrastes gilt auch

für den centralen Netzhautbezirk, die Dunkeladaptation ist ohne wesentlichen Einfluss (S. 3).

Weiterhin hat W. Nagel (171) im Gegensatze zu dem früher mit J. v. Kries erhobenen Befunde [202, S. 99], das von Hess und Hering erwiesene Bestehen der sog. nachlaufenden Bilder für den Totalfarbenblinden in Analogie zum Farbentüchtigen bestätigt. Er „beschränkte sich allerdings darauf, nach der eventuellen Sichtbarkeit des Purkinjeschen Nachbildes oder der Hessschen Phasen II und III zu suchen“ (S. 161). Es wurde durch ein dunkles Intervall getrennt, dem Reizlichte nachlaufend ein zweiter, weniger heller Punkt gesehen, der sich nach wenigen Minuten Dunkelaufenthalts in einen langen Schweif auszog. — Im Gegensatze zu dem Verhalten des (wenig dunkeladaptirten) Totalfarbenblinden beschreibt Nagel für sein absolut dunkeladaptirtes Auge (nach mindestens 2 h Lichtabschluss) in Übereinstimmung mit J. v. Kries Wegfall des Purkinjeschen Nachbildes (Phase III) und Ausziehung des Reizlichtes in einen weissen Schweif (S. 163): bei einem foveal eben nicht mehr sichtbaren Reizlichte sei schon nach 20′ Lichtabschluss kein reguläres Purkinjesches Nachbild, vielmehr ohne sichere Unterbrechung ein blassgrauer Streifen von etwa dem fünffachen der Länge des primären Bildes zu sehen, dessen Ende dort liege, wo bei helleren Lichtern Phase III erscheine. — Dass ein solcher Gegensatz zwischen dem Verhalten des Totalfarbenblinden und jenem des absolut dunkeladaptirten Farbentüchtigen gegenüber der sonst völligen Analogie (Hering) höchst auffallend und theoretisch sehr bedeutsam wäre, sei schon hier nachdrücklich hervorgehoben. „In den Nachbilderscheinungen nach Rotreizung (bemerkt der Rotgrünblinde, sog. Grünblinde Nagel, S. 165) steckt noch mancherlei mir nicht recht Erklärliches, wovon ich hier nicht reden will: sicher ist aber, dass zu demjenigen Zeitpunkt, an dem bei andersfarbigem Reizlichte das Purkinjesche Nachbild auftritt, die analoge Erscheinung bei rotem Licht fehlt.“ Das gleichfarbige Nachbild bei rotem Lichte (Hess) trete wesentlich früher ein (S. 165). Nagel lässt bei seinen Versuchen rotes Glaslicht durch Methylgrünlösung treten, welche nur die äussersten langwelligen Lichtstrahlen durchlässt (S. 164).

Gegenüber Nagel bemerkt C. Hess (201), dass die gleichfarbige Nachbildphase III bei rotem Reizlichte nicht wesentlich früher eintrete als bei andersfarbigem (S. 250).

Neuerdings hat der Rotgrünblinde, sog. Grünblinde Nagel (207, S. 272) angegeben, dass er nach $^1/_{10}{}''$ dauernder Reizung des Auges durch „helles Himmelslicht“ zuerst das Purkinjesche Nachbild, dann nach einer lichtlosen Pause von mehreren Sekunden ein Nachbild von sattem, tiefen Dunkelblau erhalte. Bei ungenügender Intensität oder Dauer der Reizung erscheine ihm diese Phase farblos grau oder höchstens mit schwach bläulichem Tone.

Unter den gleichen Bedingungen sehen andere Beobachter, mit normalem Farbensinn, das Nachbild farblos.

In seiner jüngsten Mitteilung hält J. v. Kries (205) auf Grund neuer Versuchsreihen, welche nur die drei ersten Phasen der Nachbildreaktion betreffen, die Angabe aufrecht, dass für sein Auge die Phase III innerhalb eines centralen Bezirkes fehle, während sie paracentral ganz deutlich sei. Er benützte, den Einwänden von Hess (199) entsprechend, grössere Pausen zwischen den Einzelreizen und vermied dauernde Beanspruchung des Netzhautcentrums durch ein helles Fixierzeichen. Es wurde vielmehr nach dem Vorgange von Hess (199, S. 237—238) zwischen zwei Lichtpünktchen fixiert oder nach einigen excentrischen Beobachtungen der Blick ganz ohne irgendwelche besondere Marken auf dem schwach erhellten Gesichtsfelde festgehalten. Als Reizquelle diente ein fixes kleines Objekt von solcher Grösse, „dass es auch bei kleinen Schwankungen des Blickes noch ganz foveal abgebildet werden kann" (S. 85). Am besten konnte J. v. Kries bei Anwendung einer fixen Leuchtlinie (unter $^1/_4$—$^1/_2{}^0$ erscheinend) central eine Unterbrechung der Phase III beobachten, sobald „Helligkeit und Adaptation so gewählt war, dass das sekundäre Aufleuchten als ein von dem primären deutlich getrennter Nachschlag gesehen wurde" (S. 86). In vielen Fällen sah J. v. Kries wirklich central gar nichts, in anderen central zwar nicht das „zeitlich scharf markierte charakteristische Aufleuchten" wie paracentral, wohl aber „die komplementäre Farbe auch central als tief dunkles negatives Nachbild" (S. 86). — Bei Anwendung eines grösseren Lichtfeldes, gleichfalls nach dem Vorgange von Hess (199), konnte J. v. Kries keine centrale Lücke des sekundären Aufleuchtens beobachten (S. 87), allerdings fand er dabei die Beobachtung sehr erschwert. Er verweist auch darauf, dass er auf einer für das dunkeladaptierte Netzhautcentrum unterschwelligen Beleuchtungsstufe wohl schmale helle Linien (aber nur bei momentanem Sichtbarmachen, S. 87 und 91) central deutlich unterbrochen sieht, viel schwerer aber grössere Felder (S. 87). — Bei Anwendung des Hessschen Verfahrens (198, S. 460) simultaner Vergleichung des Nachbildverlaufes an einer centralen und einer bezw. zwei paracentralen Stellen bemerkte J. v. Kries wieder das Fehlen des charakteristischen Nachschlages im Centrum, wenn er seine Aufmerksamkeit ganz ausschliesslich eben diesem zuwandte (S. 88). — Bei Beobachtung des nachlaufenden Bildes eines bewegten Objektes, hindurch zwischen zwei Lichtpunkten zum Festhalten des Blickes, kam J. v. Kries zu keinen sicheren Ergebnissen: „man hat ab und zu den Eindruck das Springen ganz sicher zu sehen, dann aber glaubt man auch wieder das nachlaufende Bild an der Stelle wahrzunehmen, die es ein anderes Mal zu überspringen schien" (S. 89). Er liess daher (neue Methode) das Objekt bis an die Stelle des deutlichsten Sehens heran oder auf sie herauf, nicht aber darüber weg, gleiten, dort aber verschwinden. Der Blick wurde zwischen zwei Lichtpunkten (unter 4—5^0) oder an der Grenze

einer mattweissen und einer schwarzen Fläche festgehalten. Hierbei verschwinde das sekundäre Bild nicht an der gleichen Stelle wie das primäre, sondern um ein merkliches Stück vorher. Hingegen konnte J. v. Kries bei Anwendung einer durch das Gesichtsfeld gleitenden Lichtlinie (nach Hess), und zwar bei einer für das dunkeladaptierte Auge foveal unsichtbaren Helligkeit, keine centrale Unterbrechung wahrnehmen (S. 91). Unter den von Hess angegebenen Methoden sind die zwei m. E. sichersten, nämlich die Nachbilderzeugung mittelst Löcherschirms (Musternachbild) oder innerhalb des durch ein anhaltendes Ringnachbild umgrenzten Centrums von J. v. Kries nicht angewendet worden.

Andererseits hat C. Hess (153) an sechs neuen Fällen von totaler Farbenblindheit den schon früher erbrachten Nachweis erneuert, dass hier der Erregungsvorgang im wesentlichen (bis auf die Farbe) in gleicher Weise abläuft wie beim Normalen, so dass auch der total Farbenblinde bei momentaner Reizung drei helle Empfindungen (Phase I, III, V), also eine Triplizität, nicht bloss eine Duplizität (J. v. Kries) des Erregungseffektes, wahrnimmt. Bezüglich des Beistehens von Phase V hatte bereits A. v. Hippel (156) an seinem zweiten Falle den Nachweis von Hess und Hering (48) bestätigt. — Da J. v. Kries (162, S. 697 und 203, S. 181) als Grund des schlechten Sehens der total Farbenblinden in hellem Lichte eine „hochgradige lokale Adaptation und ein sehr langes Nachdauern der Reize“ angenommen hatte, prüfte C. Hess an seinen neuen Fällen diese Hypothese durch besondere Versuche. Er fand, dass die Dauer des Nachhaltens der Erregung wie die Dauer der Nachbilder (Phase III und V; bei Fall II und IIa auch negatives Nachbild eines hellen Kreuzes von 1 m Armlänge, 20 cm Armbreite, aus ca. 4 m durch 30″ fixiert) beim total Farbenblinden bestimmt nicht grösser ist wie bei den Normalen. — Bezüglich der Nachdauer der Erregung beim Normalen sei schliesslich daran erinnert, dass F. Allen (185) dieselbe für extreme Helladaptation und für Dunkeladaptation grösser angegeben hat als für mittleren Helladaptationszustand.

VII. Über die Sehschärfe des helladaptierten und des dunkeladaptierten Auges beim Farbentüchtigen und beim Totalfarbenblinden.

Litteratur:

210. Albertotti, G., Über das Verhältnis zwischen Sehschärfe und Helligkeit. Ann. di Ottalm. I. S. 1. 1878.

211. Broca, A., Variation de l'acuité visuelle avec l'éclairage et l'adaptation. Mesure de la migration du pigment rétinien. C. R. de l'ac. fr. Bd. 132. S. 795. — Causes rétiniennes de la variation de l'acuité visuelle en lumière blanche. Journ. de Phys. III. S. 384. 1901.

212. Cl. de Brudzewski. L'influence de l'éclairage sur l'acuité visuelle pour les objects coloriés. Arch. d'ophth. Bd. 18. S. 692. 1898.
213. Buttmann, H., Untersuchungen über Sehschärfe. Diss. Freiburg. 1896.
214. Charpentier, A., Expériences relatives à l'influence de l'éclairage sur l'acuité visuelle. Arch. d'ophth. Bd. III. S. 37. 1883.
215. Cohn, H., Einige Vorversuche über die Abhängigkeit der Sehschärfe von der Helligkeit. Arch. f. Augenheilk. Bd. 31. Ergheft. 1895. S. 197.
216. Fick, A. E., Über Stäbchen- und Zapfensehschärfe nach Versuchen von F. Koester. Arch. f. Ophth. Bd. 45. II. S. 336. 1898.
217. Hummelsheim, E., Über den Einfluss der Pupillenweite auf die Sehschärfe bei verschiedener Intensität der Beleuchtung. Arch. f. Ophth. Bd. 45. II. S. 357. 1898.
218. Klein, H., L'influence de l'éclairage sur l'acuité visuelle. Paris 1873 u. Journ. de phys. 1873. III. S. 317.
219. König, A., Über die Abhängigkeit der Sehschärfe von der Beleuchtungsintensität. Berl. Sitzber. 13. Mai. 1897. Vgl. auch Verh. d. physik. Ges. Berlin. VIII. S. 9. 1889.
220. Koester, F., Über Stäbchen- und Zapfensehschärfe. Centralbl. f. Phys. Bd. X. S. 433. 1896.
221. Nagel, W. A., Stereoskopie und Tiefenwahrnehmung im Dämmerungssehen. Zeitschr. f. Psych. u. Phys. d. S. O. Bd. 27. 1901. S. 864.
222. Neuschuler, A., La perception de la couleur et l'acuité visuelle pour les caractères coloriés sur fonds gris variables. Arch. d'ophth. 1899. Bd. 19. S. 519.
223. Nordman, G. A., Über die zur Hervorrufung einer Formenwahrnehmung erforderliche Reizdauer und ihre Abhängigkeit von verschiedenen Variabeln. Diss. Helsingfors 1887. Ref. Centralbl. f. Phys. 1887. Bd. I. S. 379.
224. Uhthoff, W., Über das Abhängigkeitsverhältnis der Sehschärfe von der Beleuchtungsintensität. Arch. f. Ophth. Bd. 32. I. S. 171. 1886. (Eingehende Litteraturübersicht).

Neben der objektiven Intensität der Beleuchtung[1]) und der antagonistischen Wechselwirkung der Netzhautteile, der simultanen Kontrastwirkung, wurde der jeweilige Gesamtzustand des Sehorgans als von wesentlicher Bedeutung erkannt für dessen Leistungsfähigkeit, speziell für das Erkennungsvermögen von Formen und Zeichen, für die sogen. Seh- oder Leseschärfe. Doch gehören systematische Beobachtungen hierüber erst der letzten Zeit an.

Treitel (62) hatte gelegentlich bei sehr geringer Beleuchtung für das Centrum des dauerdunkeladaptierten Auges eine minder schlechte Sehschärfe angegeben als bei Fixation mit dem eben zuvor noch helladaptierten Auge, Koster (56) hingegen eine gleiche Sehschärfe. — Nordmann (223) fand die zum Erkennen etwas (1° 20′) excentrischer Sehproben nötige Zeit abnehmend mit fortschreitender Dunkeladaptation.

[1]) Bei den bisherigen Untersuchungen der Bedeutung der Lichtstärke für die Sehschärfe (vgl. Albertotti [210], Charpentier [214], W. Uhthoff [224] arbeitete mit dunkeladaptierten Auge, J. von Kries [162], Cohn [215], A. König [219], E. Hummelsheim [217] — Pupillenweite bis zu einer Beleuchtung von 1 Meterkerze fast ohne Einfluss, von 50—200 MK nur mehr von geringem Einfluss) — an farblosen Proben, ferner Macé de Lépinay und Nicati [121], A. Charpentier [18, 24 — Sehschärfemaximum des helladaptierten Auges bei Licht 575 mμ] A. König [219], Cl. de Brudzewski [212], Neuschuler [222] — an farbigen Objekten, wurde eine möglichste Trennung vom Wechsel des Adaptationszustandes nicht vorgenommen, vielmehr sowohl von den einzelnen Beobachtern ein verschiedener Ausgangszustand gewählt, als Intensitätsminderung mit Dunkeladaptation kombiniert.

Hering hatte bei Abstufen des Lichtes beobachtet, dass das dunkeladaptierte Auge auch bei einer Beleuchtung, durch die es nicht mehr geblendet wird, dennoch hinter dem helladaptierten zurücksteht. — Die Bestimmung der Sehschärfe für das Hellauge bei günstigster Beleuchtung und die Prüfung des Dunkelauges bei sehr geringer, für das Netzhautcentrum unterschwelliger Beleuchtung, wie sie Buttmann (213) und J. v. Kries (162), F. Köster (220) und A. E. Fick (216) vorgenommen haben, lieferten Daten, welche keinen prinzipiellen Vergleich der Leistung in den beiden Zuständen gestatten. Die erstgenannten Untersucher fanden bei Herabsetzung der Lichtstärke, bezw. thatsächlich in einem Dunkeladaptationszustande die Sehschärfe von 4° ausserhalb der Fovea bis zum blinden Fleck (12°) nahezu konstant und zwar schlechter als im helladaptierten Auge unter optimalen Bedingungen; ausserhalb des blinden Flecks bestand keine Differenz der beiden Bestimmungsreihen. Die Angaben von F. Köster und A. E. Fick lauten hingegen auf rasches Ansteigen der Sehschärfe im thatsächlich dunkeladaptierten Auge, „bei schwacher Beleuchtung im Dunkelzimmer", von ausserhalb der Fovea bis zu 10° und auf angenähertes Gleichbleiben bis zu 60° Excentricität. Das dunkeladaptierte Auge sei gegenüber dem helladaptierten minderwertig, jedoch (was sehr auffallend wäre) nur bis 30° bezw. 40° Excentricität, darüber hinaus bestehe das umgekehrte Verhalten. Dass die zu den bisher erwähnten Bestimmungen benützte Beleuchtungsstufe noch nicht die optimale Leistung des Dunkelauges hervortreten liess, beweist die weitere Angabe, dass eine etwas höhere Lichtstärke die Sehschärfe einer 5° excentrischen Stelle noch besserte. — Für das helladaptierte Auge hatten bekanntlich schon Volkmann, Burchardt, W. Dobrowolsky und Gaine (28) zuerst rasche Abnahme der Sehschärfe peripherwärts, schon neben der Fovea, dann langsameren, in der äussersten Periphere wieder rascheren Abfall (derselbe überhaupt relativ am sanftesten auf der nasalen Netzhauthälfte) angegeben; Aubert (2, S. 247) hingegen eine anfangs langsamere, dann raschere Abnahme der Sehschärfe im indirekten Sehen.

Eine systematische Vergleichung der Sehschärfenleistung in den beiden Zuständen (mässige bis gute Helladaptation, während der Beobachtung durch Momentandunkeladaptation von 3—6″, höchstens 10″ verändert — vorgeschrittene bis vollendete Dunkeladaptation) haben auf Herings Anregung S. Bloom und S. Garten (91) durchgeführt. Sie bestimmten mittelst Snellenscher Hakenproben die centrale Sehschärfe sowie diejenige des extrafovealen Gebietes bis 13,5° bei verschiedener, aber für beide Beobachtungsfälle gleicher Beleuchtungsintensität — auch bei konstanter künstlicher Pupille. Es wurde einerseits Doppelzimmeranordnung, andererseits ein neu konstruiertes Polarisationsphotometer verwendet. Weiterhin wurde bei gleicher dauernder oder momentaner Beleuchtung, welche aber sehr gering gewählt war, nämlich untermerklich blieb für das Centrum des dunkeladap-

Antwort von S. Garten auf
Nagel's Kritik.

tierten Auges, die Sehschärfe stärker excentrischer Netzhautteile von etwa 15°—40° im helladaptierten Auge (zuvor noch bei mittlerer Zimmerbeleuchtung geprüft) und im dunkeladaptierten Auge bestimmt. Die Beobachter ermittelten hierbei die äusserste Erkennungsgrenze für die Lage einer im Gesichtsfeld vorrückenden Formprobe (Rechteck). Endlich wurde nach der eben genannten Methode (Grenze zwischen 6° und 50°) die extrafoveale Sehschärfe verglichen im Hellauge und im Dunkelauge bei subjektiv annähernd gleicher Helligkeit, erreicht durch ein passendes Grauglas vor dem Dunkelauge, und bei einer Beleuchtung des Dunkelauges, welche für dessen Centrum eben untermerklich blieb. Die Untersuchungen von Bloom und Garten ergaben, dass auf keiner Beleuchtungsstufe irgend eine Stelle im dunkeladaptierten Auge das Optimum ihrer Sehschärfe im Hellauge erreicht, und dass das Dunkelauge nur auf den tiefsten, nicht weit von der Schwelle abliegenden Beleuchtungstufen, welche für das Hellauge völlig oder fast unterschwellig sind, eine relativ höhere oder minder schlechte Einzelleistung aufbringt. Der Vergleich fällt für die excentrischen Netzhautpartien noch ungünstiger aus als für das Centrum, so dass auf einer gewissen niedrigen Beleuchtungsstufe das Hellauge im indirekten Sehen von 3° ab das Dunkelauge bereits übertrifft, während das Centrum des letzteren noch prävaliert. Für 15—40° Excentricität gilt ersteres schon bei einer für das dunkeladaptierte Centrum noch untermerklichen Beleuchtung. Auch nach Herstellung gleicher subjektiver Helligkeit und bei einer Beleuchtung des Dunkelauges, welche für dessen Centrum noch untermerklich blieb, war die Leistung des Hellauges im indirekten Sehen (6°—50°) durchwegs eine bessere.

A. Broca (211) kam zu dem Resultate, dass für niedrige Intensitätsstufen die Sehschärfe mit fortschreitender Dunkeladaptation steige, für mittlere konstant bleibe, für hohe abnehme.

Das regionale Verhalten der Sehschärfe im Auge der Totalfarbenblinden, deren Unterscheidungsvermögen, bei gewöhnlich bestehendem Nystagmus, als unternormal bekannt war, hat in letzter Zeit mehrfache Untersuchung und theoretische Verwertung gefunden. Die Angaben A. Königs und anderer über das Vorkommen eines centralen Skotoms in solchen Fällen wurden bereits oben erwähnt (Kap. V.).

König (101, 219, 160), dann auch J. v. Kries (162) haben bereits 1894 die relativ schlechte Sehschärfe total Farbenblinder auf einen funktionalen Ausfall der Foveazapfen oder wenigstens auf deren Minderwertigkeit gedeutet: es bestehe eben kein Punkt des deutlichsten Sehens, sondern eine kreisförmige Linie, von der unter nystaktischem Wechsel der Augenstellung bald die eine, bald die

andere Partie zum Fixieren benutzt werde. An Stelle des steilen centralen Gipfels der Sehschärfenverteilung auf der normalen Netzhaut soll beim total Farbenblinden sozusagen ein centraler Krater bestehen. Königs (160) vergleichende Untersuchung der Sehschärfe eines normalen und eines total farbenblinden Auges mit sehr kleinem centralen Skotom bei wachsender Intensität und zugleich fortschreitender Helladaptation — und zwar in gesonderten Beobachtungsreihen — ergab Übereinstimmung beider bis zu 0,13 der gewählten Beleuchtungseinheit ($^1/_{10}$ MK); bei 0,097 der vollen Sehschärfe nach Snellen geradeliniger Anstieg der zu den Logarithmen der Beleuchtungsintensität als Abscissen gefundenen Sehschärfenordinaten, von dort ab Trennung und stärkeres Steigen der für den normalen geltenden Kurve.

Nach der den Erfahrungen anderer widersprechenden Angabe von F. Köster (230, 216), dass die sogen. Stäbchensehschärfe des dunkeladaptierten farbentüchtigen Auges von 10° bis 60° Excentricität nahezu unverändert bleibe, konnte man gemäss den sonstigen Analogien ein Gleiches für das total farbenblinde Auge erwarten, sei es helladaptiert oder dunkeladaptiert. Die Untersuchung von Hess und Hering (48, S. 122) ergab jedoch, dass bei ihrer total Farbenblinden ebenso wie beim Farbentüchtigen im Helladaptationszustande das Unterscheidungsvermögen (für zwei weisse Scheiben von bestimmter Grösse in verschiedenem Abstande auf dunklem Grund) nach der Peripherie hin allmählich abnimmt: analoges ergab die Prüfung in einem Dunkeladaptationszustande bei stark herabgesetzter Beleuchtung. Auch innerhalb des engeren Netzhautbezirkes bis zu 10° Excentricität wurde am Gartenschen Polarisationsphotometer bei schwacher Zimmerbeleuchtung, also geringer Helladaptation, eine allmähliche Abnahme der Sehschärfe peripherwärts konstatiert: Induktionsfunken dienten als Fixierzeichen, transparente Haken, welche von einer Glühlampe in einer weit über dem Schwellenwert liegenden Intensität dauernd oder momentan durchleuchtet waren, als Proben (S. 123). Das Netzhautcentrum, dessen Einstellung durch vier die Ecken eines Quadrates bezeichnende Induktionsfunken gesichert war, zeigte hierbei stets die relativ beste Sehschärfe. Auch ward festgestellt, dass die Sehschärfe der total Farbenblinden umso kleiner wurde, je weiter die Beleuchtung unter das für sie günstigste Mass herabgesetzt war (S. 124). Unter optimalen Bedingungen betrug die centrale Sehschärfe nach Snellen $^5/_{36}$, mit Diaphragma von 1 mm Durchmesser $^5/_{24}$.

Der in der gewöhnlichen Weise mit subnormaler Sehschärfe, Lichtscheu und Nystagmus behaftete (erste) Fall von Uhthoff (181, 182) zeigte eine optimale paracentrale Sehschärfe von $^1/_6$ der normalen centralen; von dem relativen centralen Skotom mit 1,5° Durchmesser (Sehschärfe hier ebensogross wie bei 10°—15° Excentricität, daher ein ringförmiges Fixationszeichen benützt) peripherwärts bestand in einem Helladaptationszustand bei nicht zu hoher Beleuchtung deutlich allmähliche Abnahme des Unterscheidungsver-

mögens (für schwarze Burchardtsche Punktproben auf weissem Grunde am Försterschen Perimeter); von etwa 10^0 ab war die Sehschärfe des total Farbenblinden etwa gleich der eines normalen Farbentüchtigen. Ein Gleiches ergab sich bei Prüfung auf Unterscheidung eines schwarzen Punktes in weissem Felde: Punktsehschärfe nach Guillery und Groenouw. Es wurde ferner eine Prüfung der paracentralen Sehschärfe des total farbenblinden Auges und eine Nachprüfung seitens eines normalen vorgenommen in einem Dunkeladaptationsstadium bei verschiedener Beleuchtungsintensität des Probeobjekts (Annähern und Entfernen der Lichtquelle vor einer Snellenschen Tafel). Dabei ergab sich in Bestätigung des Befundes von A. König (160) Übereinstimmung der Sehschärfe beider Beobachter bis zu 0,013 der gewählten Beleuchtungseinheit (Normalmeterkerze) bezw. bis 0,092 der vollen Sehschärfe nach Snellen, von dort Abzweigung der schwächer fortsteigenden Kurve für den Totalfarbenblinden. Diese Beleuchtungsstufe entspricht beiläufig der Schwelle des Farbigerscheinens sogen. farbiger Pigmentlichter für das dunkeladaptierte farbentüchtige Auge (S. 347). Die Kurve für den Totalfarbenblinden hat schon bei $J = 3{,}878$ ihr Maximum $S = 0{,}2$ erreicht; jene des Normalen steigt bis $S = 1{,}66$ bei $J = 190$, wo für den Totalfarbenblinden die Sehschärfe wieder auf 0,136 gesunken ist. — Später beobachtete Uhthoff (183) einen weiteren Fall (I) mit besserer Sehschärfe bei herabgesetzter Beleuchtung, ohne übernormale Adaptationsgeschwindigkeit und Unterschiedsempfindlichkeit für Helligkeit: im Falle III, bei dem speziell stetige Abnahme der Sehschärfe nach der Peripherie hin konstatiert wurde, war die Sehschärfe bei 50 Meterkerzen optimal.

Ebenso hatte A. v. Hippel (156) in seinem zweiten Falle Abnahme der Sehschärfe im indirekten Sehen festgestellt: der Bezirk deutlichen Sehens hatte auf 8 cm Abstand nur 4 mm Durchmesser, das Optimum wurde bei einer für den Normalen minderwertigen Beleuchtung erreicht. — E. Pflüger (173) fand, dass sich bei Beleuchtung von 0,02 Meterkerzen der Totalfarbenblinde, dessen Sehschärfe im indirekten Sehen abnahm, und der Farbentüchtige gleich verhielten; zwischen 0,7 und 2,04 MK erreichte der erstere sein Optimum 0,27 Visus, darüber sank seine Sehschärfe wieder, bis sie von 25 MK ab stationär 0,2 Visus blieb. — C. Hess (153) führt unter den zuletzt beobachteten Fällen von totaler Farbenblindheit einen (I.) an, der bei etwas wenig herabgesetzter Beleuchtung ein wenig bessere Sehschärfe hatte: aber schon bei Herabsetzung der Beleuchtung auf eine Stufe, bei welcher der Normale noch $^6/_8$—$^6/_{10}$ Visus hat, nahm die Sehschärfe des Totalfarbenblinden wieder deutlich ab. In Fall III und V war Minderung der Beleuchtung ohne merkliche Besserung der Sehschärfe.

Anhangsweise sei hier erwähnt, dass Nagel (221) die Frage bearbeitet hat, ob auch beim Dämmerungssehen bezw. mit dunkeladaptiertem Auge und zwar bei central unterschwelliger Beleuchtung — also unter Bedingungen, bei

denen nach der Annahme von Parinaud, König, v. Kries und Nagel allein die Stäbchen funktionieren — stereoskopisch gesehen wird, Tiefenwahrnehmung besteht. Er kam zu einem bejahenden Ergebnis, auch für das Zusammenarbeiten des einen, helladaptierten Auges bei central überschwelliger Beleuchtung und des anderen, dunkeladaptierten Auges bei central unterschwelliger Beleuchtung (für beide gleiche subjektive Helligkeit). Nagel bestimmte die Grenze der Tiefenwahrnehmung 1. „im Hellen" auf ∓ 3 mm Verschiebung des mittleren von 3 Stäben aus der Ebene der beiden anderen, die in 2,25 m Distanz 10 cm von einander abstanden; 2. „im Dunkeln bei central überschwelligem Rotlicht" auf ∓ 5 bis 6 mm; 3. „im Dunkeln bei central unterschwelliger farbloser Beleuchtung" auf ∓ 10 bis 12 mm, was der Grenze „im Hellen" bei künstlicher Minderung der Sehschärfe auf $^1/_5$ bis $^1/_{10}$ entspricht.

VIII. Über periphere objektive Vorgänge bei der Hell-Dunkeladaptation.

Litteratur:

225. Abelsdorff, G., Die Änderungen der Pupillenweite durch verschiedenfarbige Belichtung. Zeitschr. f. Psych. u. Phys. d. S. O. Bd. XXII. S. 81. 1900. Vgl. auch: Ergänzende Bemerkungen. Ebenda. S. 451.
226. — — Über die Möglichkeit eines objektiven Nachweises der Farbenblindheit. Arch. f. Augenheilk. 41. Bd. II. S. 155.
227. — — Zur Erforschung des Helligkeits- und Farbensinnes bei Menschen und Tieren. Verh. d. Berl. phys. Ges. Arch. f. Phys. S. 561. 1900. 23. Februar. 1900.
228. Birch-Hirschfeld, A., Beitrag zur Kenntnis der Netzhautganglienzellen unter physiologischen und pathologischen Verhältnissen. Arch. f. Ophth. Bd. 50. 1900. S. 166.
229. Birnbacher, Über eine Farbenreaktion der belichteten und unbelichteten Netzhaut. Arch. f. Ophth. Bd. 40. V. S. 1. 1894.
230. Charpentier, A., Über entoptische Sichtbarkeit des Sehpurpurs. C. R. de la Soc. de Biol. 31. Mai 1890 und C. R. de l'ac. fr. 27. Juli 1891, auch [189. 190].
231. Chatin, J., Contributions expérimentales à l'étude de la chromatopsie chez les Batraciens, les Crustacés et les Insectes. Paris. Gauthier-Villars. 1881.
232. Dewar und M'Kendrick, On the physiological action of light. Transact. R. S. Edingburgh. 1874.
233. Fick, A. E., Untersuchungen über die Pigmentwanderung in der Netzhaut des Frosches. Arch. f. Ophth. Bd. 37. II. S. 1. 1891.
234. Fuchs, S. und Kreidl, A., Über das Verhalten des Sehpurpurs gegen die Röntgenschen Strahlen. Centralbl. f. Phys. Bd. X. 1896. S. 249.
235. Fuchs, S., Untersuchungen über die im Gefolge der Belichtung auftretenden galvanischen Vorgänge in der Netzhaut und ihren zeitlichen Verlauf. I. Mitteilg. Pflügers Arch. Bd. 56. 1894. S. 408. II. Mitteilg. Pflügers Arch. Bd. 84. S. 425. 1901.
236. Garten, S., Beiträge zur Kenntnis des zeitlichen Ablaufes der Pupillenreaktion nach Verdunklung. Pflügers Arch. Bd. 68. S. 68. 1897.
237. Guth, E., Untersuchungen über die motorische Wirkung des Lichtes auf den Sphincter pupillae des Aal- und Froschauges. Pflügers Arch. Bd. 85. S. 119. 1901.
238. Hess, C., Über das Vorkommen von Sehpurpur bei Cephalopoden. Centralbl. f. Phys. 1902. Bd. 16. S. 91.

239. Himstedt, F. und Nagel, W. A., Die Verteilung der Reizwerte für die Froschnetzhaut im Dispersionsspektrum des Gaslichtes, mittelst der Aktionsströme untersucht. Ber. d. naturf. Ges. zu Freiburg. Bd. XI. H. 3. S. 153. 1901.
240. Köttgen, E. und Abelsdorff, G., Absorption und Zersetzung des Sehpurpurs bei den Wirbeltieren. Zeitschr. f. Psych. u. Phys. d. S. O. Bd. XII. S. 161. 1896.
241. Kraepelin, Zur Frage der Gültigkeit des Weberschen Gesetzes. Wundts philos. Stud. Bd. II. 1885. S. 306.
242. Kries, J. v., Auf dem Physiologenkongress zu Cambridge. Ref. Centralbl. f. Phys. Bd. 12. S. 500.
243. Krückmann, E., Physiologisches über die Pigmentepithelzellen der Retina. Arch. f. Ophth. Bd. 47. I. S. 1. 1899.
244. Kühne, W. und Sewall, H., Zur Physiologie des Sehepithels, insbesondere der Fische. Unters. a. d. phys. Inst. zu Heidelberg. Bd. III. 1880. S. 221—277.
245. Kühne, W. und Steiner, Über das elektromotorische Verhalten der Netzhaut. Unters. a. d. phys. Inst. zu Heidelberg. Bd. III. S. 327. 1880 und: Über elektrische Vorgänge im Sehorgane. Ebenda. Bd. IV. S. 64. spec. S. 97. 1881.
246. Kühne, W., Beobachtungen zur Anatomie und Physiologie der Retina. 2. Notiz über die Augen einiger Nachttiere. Ebenda. Bd. IV. S. 282. 1881.
247. Magnus, Beiträge zur Pupillarreaktion des Aal- und Froschauges. Zeitschr. f. Biol. Bd. 38. H. 4. S. 567. 1899. Vgl. Physiologenkongress zu Cambridge. Ref. Centralbl. f. Phys. Bd. 12. S. 499. 1898.
248. Pergens, E., Action de la lumière sur la rétine. Ann. de la Soc. R. des sc. méd. et nat. de Bruxelles. T. V. und VI. und Travaux de l'Inst. Solvay. 1. Bd. 1896. Vgl. auch Heger und Pergens, Bull. Acad. roy. de méd. de Belgique (4). X. p. 167. Ref. Centralbl. f. Phys. X. 1896. S. 274.
249. Sachs, M., Über den Einfluss farbiger Lichter auf die Weite der Pupille. Pflügers Arch. Bd. 52. S. 79. 1892.
250. — — Eine Methode zur objekten Prüfung des Farbensinnes. Arch. f. Ophth. Bd. 39. III. S. 108. 1893. Vgl. auch Th. Beer, Über primitive Sehorgane. Wiener klin. Wochenschr. 1901. Nr. 11, 12, 13.
251. — — Über den Einfluss farbiger Lichter auf die Weite der Pupille. Zeitschr. f. Psych. und Phys. d. S. O. Bd. 22. 1900. S. 388.
252. Schirmer, Untersuchungen zur Physiologie der Pupillenweite. Arch. f. Ophth. Bd. 40. V. S. 8. 1894.
253. Steinach, Untersuchungen zur Physiologie der Iris. I. Mitteilg. Pflügers Arch. Bd. 47. S. 328. 1890. II. Mitteilg. Pflügers Arch. Bd. 52. S. 504. 1892.

Unsere objektive Kenntnis über die Adaptationsvorgänge im Sehorgan ist gegenüber der subjektiven Erfahrung verhältnismässig dürftig und beschränkt sich bisher auf den peripheren Teil des optischen Apparates, auf das Verhalten der Iris und der Netzhaut, speziell auf die elektrische Reaktionsweise der letzteren, die Produktion des Sehpurpurs, den bei Säugern bisher vermissten Lagewechsel des Pigments, die bei Kaltblütern beobachtete Veränderung der Form an den Stäbchen und Zapfen und der Färbbarkeit an den Zellkernen sowie an den Zapfenellipsoiden (Birnbacher [299]).

O. Schirmer (252) erklärte zuerst die Pupillenweite und die Pupillenreaktion als wesentlich abhängig vom Adaptationszustande des Auges. Bei vollendeter Adaptation an eine bestimmte Beleuchtungsstufe erreiche die Pupille innerhalb gewisser Grenzen (für Beleuchtungsstufen zwischen 100 bis 1100 Meterkerzen) nach anfänglicher Erweiterung oder Verengerung wieder

dieselbe Grösse, die physiologische Pupillenweite κατ' ἐξοχήν (etwa 3,25—4 mm Durchmesser [S. 15]). In Fällen von stärkerer wie schwächerer Beleuchtung blieb die Pupille dauernd enger, bezw. weiter. Bestand vor Eintritt einer und derselben mittleren Beleuchtung eine geringe bezw. starke, so ist die anfängliche Verengerung bezw. Erweiterung der Pupille eine recht erhebliche. Das Tempo der Veränderung der Pupillenweite entspreche der Adaptationsgeschwindigkeit, sei beim Übergang vom Dunkleren zum Helleren erheblich rascher als beim umgekehrten Beleuchtungswechsel (S. 17). — Dass Atropinmydriasis den Adaptationsprozess nicht beeinträchtigt, hat Kraepelin (241) gezeigt.

Weiterhin hat S. Garten (236) die Frage behandelt, ob sich nach Lichtabschluss der Kontraktionszustand der Irismuskulatur abhängig erweist von dem jeweiligen Empfindungszustande, oder ob die Pupillenweite und die psychophysischen Prozesse des Eigenlichtes, der Nachbilder einer solchen Beziehung ermangeln. Die Pupillenweite wurde mittelst ultravioletter Strahlen oder Magnesiumblitzlicht photographisch registriert. — Bei Lichtabschluss trat nach kürzerer oder längerer Latenz eine anfangs rasche, dann immer langsamer fortschreitende Pupillenerweiterung ein — ohne sekundäre Verengerung. Momentanbelichtung bewirkt am helladaptierten Auge eine nur schwache, aber rasche, im dunkeladaptierten Auge eine stärkere, aber langsamer einsetzende und länger anhaltende Pupillenverengerung — analog dem gesteigerten Helligkeitseffekt im dunkeladaptierten Auge. Der Beginn der Pupillenerweiterung fiel mit dem Nachlassen der Blendungsempfindung zusammen. — Die Reaktionsgrösse der Pupille wächst bei Lichtabschluss analog der Lichtempfindlichkeit (Aubert) anfangs sehr rasch. Ebenso wie ein langsames Anwachsen der Beleuchtung infolge der eintretenden Adaptation eine relativ geringe Zunahme der subjektiven Helligkeit bedingt, so auch eine relativ geringe Pupillenverengerung — verglichen mit den Effekten raschen Anwachsens der Beleuchtung. — In den ersten 10 Sekunden des Lichtabschlusses bedarf es speziell starker Reizung, um Pupillenverengerung auszulösen. — Auch der Verlauf der Pupillenerweiterung nach Lichtabschluss folgt der Aubertschen Regel für die Dunkeladaptation des Sehorganes. Hingegen scheinen die Entwickelung des Eigenlichtes, ebenso die Nachbildererscheinungen ohne Einfluss auf die Pupillenweite zu verlaufen.

Die Bedeutung des Adaptationszustandes für den Einfluss farbiger Lichter auf die Pupillenweite sowie der volle Parallelismus der pupillomotorischen Wirkungen und der optischen Empfindungseffekte ist von M. Sachs erkannt worden. Er bediente sich zunächst (249) der subjektiven, entoptischen Beobachtung (Berührung, Auseinanderweichen, Übereinandergreifen der Zerstreuungskreise von zwei dicht vor dem einen Auge befindlichen Lichtpunkten — wechselnde Beleuchtung des anderen Auges), dann (251, 252) aber auch der objektiven Fernrohrbeobachtungder Pupille eines fremden

S. 90. Tabelle:
bei Garten

Lichtabschlussdauer	Pupillenweite
0"	4,76
5"	7,36
30"	7,30
15 Min.	7,59
30 "	7,53
1 Stunde	7,48
8 Stunden	7,99

Übersehen ist:

L. J. Lans, Über Pupillenweite (sc. bei Hell-Dunkeladaptation)
Engelmann's Arch. f. Phys. 1900. S. 79–101

Nach vollst. Adaptation für Intensitäten zwischen 0 und 25, [bzw. 25 und 900] ~~Meterkerzen~~ nimmt der Pupillendurchmesser erst schneller, dann langsamer ab. Diese Abnahme findet fast identisch mit der Vermehrung der Sehschärfe bei Beleuchtungszunahme statt.

Auges (Beleuchtungsgläser durch einen Schieber gewechselt) und konstatierte, dass gleichhell und farbig erscheinende Pigment- oder Glaslichter unter den gleichen Bedingungen für das Hellauge (central) motorisch äquivalent sind. Dasselbe gilt für das Dunkelauge von farbigen Lichtern, welche nunmehr von gleicher farbloser Helligkeit erscheinen. Diese pupillomotorischen Gleichungen des Hellauges gelten ebensowenig wie dessen optische Helligkeitsgleichungen für das Dunkelauge und umgekehrt. Die für das helladaptierte Netzhautcentrum hergestellte motorische Äquivalenz wird ebenso wie die optische ungültig im stärker indirekten Sehen, speziell in der relativ rotgrünblinden Zone. Versuche an einem Totalfarbenblinden ergaben, analog dem optischen Verhalten, wesentliche Übereinstimmung der relativen Pupillenreizwerte für dessen Auge und für das absolut dunkeladaptierte Auge des Farbentüchtigen. Auch für einen helladaptierten Rotgrünblinden, zweifellos einen sogen. Rotblinden, ergab sich eine Identität der optischen und der pupillomotorischen Äquivalenz und zwar in gleichmässiger Abweichung von dem Verhalten des Farbentüchtigen. Sachs hat auch den Vorschlag gemacht, die Pupillarreaktion auf farbige Lichter zur heterochromatischen Photometrie und zur objektiven Untersuchung der relativen Helligkeitswerte farbiger Lichter bezw. des Farbensinnes zu verwenden, zumal in Fällen, wo eine Äusserung über den Empfindungsinhalt nicht zu erhalten ist. Demgemäss hat er bereits 1894 (1901 mitgeteilt durch Th. Beer [250]) seine Methode zur objektiven Prüfung des Farbensinnes auf Tiere angewendet; Sachs fand die Pupillenreaktion beim Hunde analog wie beim Menschen im Gegensatz zu der relativen Überempfindlichkeit der Katzenpupille für blaues und zu deren relativer Unterempfindlichkeit für rotes Licht.

Die Feststellungen von Sachs wurden durch G. Abelsdorff (225) unter Anwendung homogener Lichter durchaus bestätigt; es ergab sich nämlich eine wesentliche Übereinstimmung in der Verteilung der sogen. Helligkeitswerte (ausgedrückt durch die jeweils an Helligkeit äquivalenten Mengen von Licht 600 oder 480) und der pupillomotorischen Werte im Gaslichtspektrum (Beobachtungsgrenzen 640 und 500) einerseits für das helladaptierte, farbentüchtige Auge, andererseits für das absolut dunkeladaptierte Auge; ferner (226), mit dem letzteren übereinstimmend, für das totalfarbenblinde Auge, endlich auch für das sogen. rotblinde Auge (die langwelligen Lichter relativ wenig wirksam). Abelsdorff konstatierte auch speziell, dass „die blosse Stimmungsänderung der betroffenen Sehfeldstellen genügt, um bei ungeänderter passender Lichtstärke eine Änderung ihrer Reizwerte für die Irisbewegung im Sinne des Purkinjeschen Phänomens (nach Hering) herbeizuführen.“ — Er benützte ferner (227) die Sachssche Methode zur Untersuchung des Helligkeits- und Farbensinnes der Tiere; beim Kaninchen und Meerschweinchen ergaben erst relativ grosse Intensitätsänderungen Pupillenreaktion. Ein für das helladaptierte menschliche Auge

gleichhelles und pupillomotorisch äquivalentes Rotlicht und Blaulicht zeigt bei der Taube und Eule ungleiche Wirkung; bei jener ist das rote, bei dieser das blaue (und grüne — in einer für den helladaptierten Farbentüchtigen gleichen Helligkeit gewählt) wirksamer und zwar relativ noch wirksamer als beim total farbenblinden Menschen.

Als Ergänzung sei hier ein Hinweis auf das Verhalten der isolierten Iris bei Kaltblütern eingefügt. Nachdem Arnold 1841), Reinhardt (1843), Brown-Séquard (1847—1859), H. Müller (1859), Schur (1868), E. Gysi (1879) — Budge (1854) und Edgren (1878) contra — am ausgeschnittenen Aalauge und Froschauge (Temporaria) Pupillenreaktion auf Licht beobachtet hatten, fand Steinach (253) bei der weiteren Untersuchung dieser Frage an Fröschen, Salamandern und Fischen erhöhte Energie der Reaktion der isolierten Iris, auch der Iris ohne Ciliarkörper (genauer nach Steinach: der pigmentierten Muskelzellen des Sphinkter) nach Dunkelaufenthalt des Tieres. Er erhielt ferner an der bei rotem Licht isolierten Iris von Tieren, die lange Zeit im Finstern gehalten, also optisch dunkeladaptiert waren, ein allmähliches Ansteigen der Empfindlichkeitskurve (Sonnenspektrum) erst hinter der Linie C, Maximum bei E bis nahe an G. — Später hat Magnus (247) gezeigt, dass die Kurve der Pupillenreaktion des isolierten Aalauges übereinstimmt mit der Absorptionskurve des Aalsehpurpurs, obwohl dieser selbst keine Rolle beim Zustandekommen der Reaktion spielt; Maximum zwischen 540 und 517, allmählicher Abfall nach dem kurzwelligen Ende hin, steilerer nach dem langwelligen bis D, von D bis C wieder langsamer. Die Aufhebung der Reaktion durch Atropin mache die Muskelhypothese Steinachs unwahrscheinlich. Gegen dieselbe hatte bereits J. v. Kries (242) eingewendet, dass die excidierte Iris nur bei Belichtung von hinten her reagiere. — Andererseits hat Guth (237) nachgewiesen, dass der nervöser Elemente anscheinend entbehrende Pupillarteil der Aal- und Froschiris, sowie isolierte Muskelzellengruppen derselben auf Licht reagieren; auch bleibe die Pupillarreaktion am enukleierten Bulbus fast zwei Wochen lang erhalten, weitaus länger als dies von peripheren Reflexen am Darme bekannt sei.

Auch am elektromotorischen Verhalten des Bulbus bezw. der Netzhaut (genaueres über den zeitlichen Verlauf der Belichtungsschwankungen des Netzhautstromes siehe bei Fuchs [235]) findet sich ein deutlicher Einfluss des Adaptationszustandes ausgeprägt. So konstatierte Chatin (231) an den Bulbi von Dunkelfröschen Verstärkung der für verschiedene Lichtarten verschiedenen Reaktion; dasselbe fanden Dewar und M'Kendrick (232), sie bezeichneten die Empfindlichkeit als maximal für gelbes Licht, hierbei wohl Hellfrösche benützend. Später fanden Kühne und Steiner (245) bei Untersuchung der isolierten Froschnetzhaut gleichfalls erhöhte Reaktion, d. h. Belichtungsschwankung — auch für rotes Licht! — bei Dunkelfröschen, bezw. purpurreicher Netzhaut gegenüber der purpurlosen Netzhaut der Hell-

Tiefe und lange Narkose vermindert den SP

Beob. Haab's an Katzen 1879

Klin. M Bl f. A. XVII. S. 392. Anm. 1.

frösche, zugleich auch qualitative Änderung der Reaktionsweise, nämlich Abnahme des positiven Vorschlages der negativen Schwankung bei Hellfröschen bezw. bei Bleichung der Netzhaut. — Auch F. Himstedt und W. A. Nagel (239) bestätigten einerseits durch Messung der positiven Belichtungsschwankung des Ruhestromes am Bulbus von Hell- und von Dunkelfröschen die stärkere Reaktion der Dunkelbulbi. Andererseits fanden sie die Hellpräparate scheinbar (da Intensitätsverteilung nicht bestimmt) am empfindlichsten für Natriumlicht (589), weniger für Strahlungen grösserer, noch weniger für solche kürzerer Wellenlänge; die Dunkelpräparate zeigten das scheinbare Maximum im Gelbgrün (um 544, nahe 535), einen rapiden Abfall der Empfindlichkeit nach dem langwelligen, einen sanften nach dem kurzwelligen Ende hin — eine schöne Analogie zur Helligkeitsverteilung im Spektrum für das helladaptierte und das dunkeladaptierte Auge des Menschen.

Bezüglich des Verhaltens der Netzhaut, speziell des Pigmentepithels und des Sehpurpurs bei verschiedenem Adaptationszustande glaube ich mich — angesichts der in grösserer Zahl vorliegenden Litteraturübersichten über diesen Gegenstand[1]) — ganz kurz fassen zu dürfen.

Das optische, absorptive Verhalten des menschlichen Sehpurpurs und des Sehgelbs hat durch A. König (101) ein genaueres Studium erfahren; es ergab sich dabei eine wesentliche Übereinstimmung (nach Reduktion auf gleichmässige Energieverteilung im Spektrum!) der Absorptionskurve des Sehpurpurs mit der Äquivalentenkurve, welche die Helligkeitsverteilung im farblos erscheinenden Spektrum für das absolut dunkeladaptierte farbentüchtige Auge und für das total farbenblinde Sehorgan in gleicher Weise charakterisiert (Hering). Diesem Parallelismus fügt sich nach Magnus (247) auch die Reaktionsweise der Iris im dunkeladaptierten Aalauge.

Später haben Köttgen und Abelsdorff (240) den Sehpurpur bei zahlreichen Wirbeltieren systematisch untersucht. Sie führten die von Kühne[2]) und Sewall (244) angebahnte Unterscheidung von zwei hauptsächlichen Arten von Sehpurpur durch, des einen mit Maximum bei 500 $m\mu$ bei Säugetieren, Vögeln und Amphibien, des anderen mit Maximum bei 540 $m\mu$ bei Fischen. Da die genannten Untersucher bei Einwirkung von sogen. weissem, gelben und blauen Licht nur farbloses Abblassen der Dunkelnetzhäute beobachteten, bestritten sie überhaupt das Bestehen eines gelbgefärbten Insolationsproduktes, des Sehgelbs nach Kühne. — Neuerdings hat C. Hess (238) das Vorkommen von Sehpurpur bei Cephalopoden nachgewiesen. — Ich erinnere

[1]) Ich verweise nur auf Pergens (248) und Birch-Hirschfeld (228) bezüglich der Nervenzellen; auf E. Krückmann (243) bezüglich der Pigmentzellen.

[2]) Hier sei auch der interessanten Beobachtung von Ewald und Kühne (256, S. 201 u. 203) gedacht, dass ein aus Spektralrot und reinem Grün gemischtes Gelbgrün schwächer auf den Sehpurpur des Frosches wirkt als homogenes Gelbgrün von einer für das menschliche Auge gleichen Helligkeit; andererseits erwies sich Mischblau aus Grün und Violett in der Helligkeitsgleichung mit homogenem Blau stärker wirksam als dieses.

des weiteren an das Fehlen des Sehpurpurs bei zahlreichen Tierarten, z. B. Huhn und Taube, welche H. Parinaud (68) als hemeralopisch betrachtet, aber auch bei Nachttieren, z. B. Vespertilio serotinus, Caprimulgus (Kühne [246]); ferner an die Unveränderlichkeit des Sehpurpurs gegen Druck und gegen Röntgenstrahlen (Fuchs und Kreidl [234], Brandes und Dorn [6a]). Gleichwohl weist bekanntlich das dunkeladaptierte Auge eine erhöhte Empfindlichkeit auch gegenüber mechanischen Reizen und eine anscheinend exklusive für Röntgenstrahlen auf (Brandes und Dorn [6a], Himstedt und Nagel [50]). — Endlich sei erwähnt, dass Charpentier (230) den menschlichen Sehpurpur für entoptisch sichtbar hält.

Bezüglich des Lagewechsels, welchen die Pigmentkörperchen im äusseren Retinalblatte unter dem Einflusse des Lichtes erfahren [1]) sei die Bemerkung nicht unterlassen, dass sich die bezüglichen Feststellungen bisher auf Amphibien, Fische, Arthropoden (Insekten, Krebse), Reptilien und Vögel beschränken, sich aber nicht auch auf die Säugetiere und den Menschen erstrecken; nur Angaben über festeres Haften des Pigmentlagers in belichteten Augen der letzteren liegen vor (Kühne, Krückmann).

Zweiter Teil.

Theoretisches.

Litteratur:

254. Berry, G., Présomption sur les fonctions de certaines élements rétiniens. The Ophth. Review. 1890.

255. Charpentier, A., C. R. de l'ac. fr. 27. Decembre. 1880. Réponse à M. Parinaud: vom 13. VII. 1885 [18]. A propos d'un article de M. Parinaud: Arch. d'ophth. Bd. 16. 1896. S. 196. Auch: La lumière et les couleurs. Paris. Vgl. seine Notes C. R. de l'ac. fr. vom 10. II., 20. V., 27. V. 1878, vom 27. I., 10. II. 1879 [12], vom 13. XII., 27. XII. 1880. und 10. I. 1881.

256. Ewald, A. und Kühne, W., Untersuchungen über den Sehpurpur. Unters. a. d. phys. Inst. zu Heidelberg. 1878. I. Bd. S. 139—218 und 248—290 und 370—455.

257. Fick, A. E., Referat über J. v. Kries [103]. Centralbl. f. Phys. Bd. 9. 1895. S. 724.

258. Gruber, E., Exp. Untersuchungen über die Helligkeit der Farben. Wundts Philos. Studien. Bd. IX. S. 429. 1894.

259. Haab, Der Sehpurpur und seine Beziehung zum Sehakt. Habil. Schr. Correspondenzbl. f. Schweizer Ärzte. Tg. IX. 1879.

---

[1]) Bezügliche Einschränkungen und den Nachweis einseitiger Pigmentverlagerung bei einseitiger Belichtung, siehe A. E. Fick (233).

Unveränd. gegen Radiumstrahlen, von denen die
β- und γ- Strahlen Licht E erzeugen, nicht aber
die α- Strahlen Hardy & Anderson

P. R. S. LXXII. p. 393. 1903.

260. Hering, E., Kritik einer Abhandlung von Donders über Farbensysteme. Lotos. N. F. II. 1882. Auch. sep.
261. — — Über die von J. v. Kries wider die Theorie der Gegenfarben erhobenen Einwände. I. Mitteilg. Über die Unabhängigkeit der Farbengleichungen von den Erregbarkeitsänderungen des Sehorgans. Pflügers Arch. Bd. 42. 1888. S. 488. Vgl. auch II. Mitteilg. Ebenda. Bd. 43. S. 264. 1888. III. Mitteilg. Ebenda. Bd. 43. S. 329. 1888.
262. Kretzmann, F., Einiges über die Helligkeit komplementärer Gemische. Beitr. z. Psych. und Philos. von G. Martius. I. Bd. 1. H. 1896. S. 120.
263. Kries, J. v., Theoretische Studien über die Umstimmung des Sehorgans. Festschr. der Univ. Freiburg zum 50jähr. Regierungsjubiläum. 1901. S. 145—158. Auch sep.
264. Kühne, W., Über den Sehpurpur. Unters. a. d. phys. Inst. zu Heidelberg. Bd. I. 1878. S. 15—103.
265. — — Das Sehen ohne Sehpurpur. Ebenda. Bd. I. S. 119—138. 1878.
266. — — Chemische Vorgänge in der Netzhaut. Handb. d. Phys. v. L. Hermann. III. Bd. 1. Abteilg.
267. Martius, G., Über den Begriff der spezifischen Helligkeit der Farbenempfindung. Beitr. zur Psych. u. Phys. u. Philos. Bd. I. 1. H. S. 132. 1896. Vgl. auch: Das Gesetz des Helligkeitswertes der negativen Nachbilder. S. 17, auch S. 95.
268. Parinaud, H., Nouvelle réplique à la réponse de M. Charpentier. C. R. de l'ac. fr. 101. 1885. S. 1078. Vgl. auch: [67], [68], [68a], [69 — speziell: Sur l'existence de deux modes de sensibilité à la lumière. C. R. de l'ac. fr. 101. 1885. S. 937]. [70], [71]. Ferner: La vision. 1898. Paris. O. Doin. S. 65. ff.
269. Schultze, M., Zur Anatomie und Physiologie der Retina. Arch. f. mikr. Anat. II. 1866. S. 175, speziell: Kap. IV. Über die Verschiedenheiten von Stäbchen und Zapfen mit besonderer Berücksichtigung ihrer Funktion. S. 247—261.
270. — — Über Stäbchen und Zapfen der Retina. Arch. f. mikr. Anat. III. S. 215, speziell S. 237 und 371.
271. Tschiriew, Nouvelle hypothèse de sensations coloriés. Arch. de phys. Bd. VIII. 1896. S. 975.
272. Walther, A., Beobachtungen über den Verlauf centraler und extramakularer negativer Nachbilder. Pflügers Arch. Bd. 77. 1899. S. 53.
273. Weiss, G., La théorie chimique de la vision. Rev. gén. des Sc. März 1895.
274. Woinow, Beiträge zur Farbenlehre. Arch. f. Ophth. Bd. 21. I. S. 223. 1875.

> Dudum experior rarissime eas rerum naturalium interpretationes firmas esse, quae eleganti simplicitate speciem veri imitantur. A. v. Haller.

Wenn im nachstehenden die Theorien, welche das Adaptationsproblem und verwandte Fragen betreffen, gesondert von dem reichen Thatsachenmaterial und verhältnismässig kurz behandelt werden sollen, so folge ich dabei einerseits dem Grundsatze, dass es doch in erster Linie auf die Thatsachen ankommt, andererseits ist m. E. eine volle Würdigung der zusammenfassenden Vorstellungen und „Erklärungen" nur an der Hand des Gedanken- und Begründungsganges der Originale selbst zu gewinnen. Auch schien mir hier nicht der Ort gegeben zu einer detaillierten Gegenüberstellung der objektivistisch-physikalischen Anschauungsweise, welche in der Young-Helmholtzschen Dreifarbenlehre ihren spezifischen Ausdruck findet, und der subjektivistischen Sinnesphysiologie, wie sie in Herings Lehre vom Lichtsinne, bezw. in der Theorie der Gegenfarben vertreten ist.

Der erste, welcher eine spezielle Theorie über das Sehen des dunkeladaptierten Auges, und zwar gleich eine detaillierte Hypothese über die Funktion der Anfangsglieder der Sehleitung aufstellte, war bekanntlich M. Schultze (1866 — 269 u. 270). Derselbe suchte nach der funktionalen Bedeutung der morphologischen Differenzierung des retinalen Neuroepithels und äusserte die Hypothese von der Totalfarbenblindheit der Stäbchen, nach welcher den Zapfenzellen als den höher differenzierten Gebilden neben der schliesslichen Vermittelung farbloser Empfindungen auch die Vermittelung farbiger Empfindungen, also Licht- und Farbensinn zukäme. Als Gründe für diese These konnte M. Schultze allerdings nur anführen: die Abnahme des Farbensinnes und der Sehschärfe im indirekten Sehen als eine gewisse Parallele zur Zunahme der Stäbchen im Verhältnis zu den Zapfen (269, S. 253; doch S. 249: wenige mm von der Mitte der Makula stehen schon 2—3 Stäbchen zwischen zwei Zapfen, ein Verhältnis, welches dann bis zur Ora serrata konstant bleibt), ferner den Zapfenmangel bei gewissen im Dunkeln lebenden Tieren (Fledermaus, Igel, Maulwurf, Maus; ebenso die Petromyzonten und Plagiostomen, unter den Knochenfischen der Aal [270, S. 238]; Eule mit enormer Stäbchenüberzahl im Gegensatz zu den anderen Vögeln; beim Kaninchen nur Zapfenrudimente, bei der Katze 6—9 Stäbchen zwischen 2 Zapfen [269, S. 250]), endlich den Stäbchenmangel bei den im Sonnenlichte lebenden Eidechsen und Schlangen (269, S. 252). Den Dunkeltieren wird dabei in Analogie zum Sehen des dunkeladaptierten Menschenauges nur farblose Helligkeitsempfindung zugeschrieben. Der Anführung der gelben (als Violettvermittler) und der roten (als Grünvermittler) Ölkugeln in den Zapfen der Vögel, sowie der anscheinenden Fibrillarstruktur („Zusammensetzung“; 269, S. 254, 255) der relativ dicken Zapfenfasern kann wohl keine Beweiskraft beigemessen werden. — Über die Natur der farblosen Erregung in den Stäbchen wie in den Zapfen enthielt sich M. Schultze jedweder Vermutung. Die Young-Helmholtzsche Annahme von drei Faserarten erwähnt er nur beiläufig (269, S. 254, 258) als „Substrat des Farbensinnes“ und bezeichnet es als wahrscheinlich, dass jeder Zapfen sehr verschiedene Farbenempfindungen zu vermitteln vermag. — Diese Theorie M. Schultzes erhielt sich dauernd bekannt. Auf ihre Erörterung und Ergänzung durch Kühne und Haab sowie durch Preyer wird gleich einzugehen sein.

Zuvor aber sei daran erinnert, dass die Young-Maxwell-Helmholtzsche Dreifarbenlehre in ihrer Wesenheit eine psychologisch-physiologische Transscription der Regeln darstellte, welche sich seit Newton für die Lichtermischung ergeben hatten. Es war ein m. E. trügerischer Analogieschluss von der Addition der physikalischen Reize auf eine Zusammensetzung der physiologischen Reaktion, des psychischen Endeffektes — speziell der Weissempfindung. Dieselbe unheilvolle Ver-

wechslung und Vermengung von Reiz und Erregung bezw. Empfindung, speziell Weissempfindung, lag ja schon dem Zwiespalt zwischen Goethe und Newtons Lehre zu Grunde: beiderseits ein richtiges Erfassen des ganz verschiedenen Ausgangspunktes, beiderseits ein Trugschluss auf das andere Gebiet. — Später haben bekanntlich Donders, Ad. Fick, J. v. Kries versucht den zahlreichen Schwierigkeiten in den psychophysischen Konsequenzen der Additionstheorie dadurch zu entgehen, dass sie dieselbe als „Dreifaser- oder Dreikomponentenlehre" auf die periphere Gliederung des Sehorgans beschränkten: den Gedanken einer Vereinigung der so umgestalteten Dreifarbentheorie mit der Vierfarbenlehre Herings hatte schon vorher Aubert (3, S. 519) ausgesprochen[1]). Es kann hier nur kurz bemerkt werden, dass dabei der oben angedeutete prinzipielle Fehler sowie auch zahlreiche thatsächliche Schwierigkeiten fortbestehen bleiben; nach wie vor bildet das Dreifaser- oder Dreikomponentenweiss den kritischen Punkt auch dieser Additionstheorie. Speziell blieben aber unter jener Voraussetzung die Thatsachen der Hell-Dunkeladaptation einer ungezwungenen „Erklärung" so gut wie unzugänglich. Parinaud (268), Ladd-Franklin (166), König (101) und Kries (103, 57, 104) schlugen daher, zum Teil an M. Schultze anknüpfend, einen Ausweg ein, der eingehender charakterisiert zu werden verdient. — Mit jener Additionsannahme ist m. E. weder eine zweckmässige Zusammenfassung der Erscheinungen noch eine brauchbare Arbeitshypothese gewonnen, vielmehr ein vorschnelles und nicht unbedenkliches Präjudiz über die peripheren Vorgänge geschaffen, welche uns nicht gleich den psychophysischen durch Bewusstseinskorrelate „direkt" zugänglich sind.

Strenge und konsequente Scheidung der physikalisch-optischen Reize und der physiologischen bezw. subjektiven Reaktionen bildete die Voraussetzung, methodische Analyse der Gesichtsempfindungen nach ihrer spezifischen Ähnlichkeit und Verschiedenheit war der Ausgangspunkt von Herings Lehre vom Licht- und Farbensinne. Ihre Sätze vom psychophysischen Dauerprozesse des sogen. Eigengraus, von der „Vollwertigkeit" des Schwarzprozesses, von der Einfachheit und Selbständigkeit des Weissprozesses gegenüber den vier urfarbigen Teilvorgängen[2]), von der Gruppierung der

---

[1]) Vgl. diesbezüglich die Erörterung bei Hering (260).

[2]) Auf die Begründung dieses Satzes, der sich speziell aus dem selbständigen Verhalten der farblosen und der farbigen Prozesse bei sog. Ermüdung oder Adaptation, bei der Kontrastwirkung und der Nachbildreaktion ergiebt, kann hier nicht eingegangen werden. — Eine gelegentliche Angabe von J. v. Kries (103, S. 62 bezw. 2 des S. A. Vgl. auch 263) erscheint mir nicht geeignet einen Einspruch hiergegen zu begründen. Um nämlich eine weisslichblaue Kreiselgleichung zwischen dem Eindruck der einen stärker weissermüdeten Netzhauthälfte und dem Eindrucke der anderen zu gewinnen, müsse der letzteren nicht bloss weniger Weiss (mehr Schwarz), sondern auch weniger Blau geboten werden. Dieses Ergebnis dürfte wohl nur durch besondere Versuchsumstände (Beschaffenheit des benützten „Weiss", chromatische Stimmung des Auges) bedingt gewesen sein. — Näheres siehe bei Hering (260, speziell S. 16, ferner 261, sowie „Beleuchtung eines Angriffes auf die Theorie der Gegenfarben". Pflügers

letzteren in zwei Paare von Antagonisten sind Parallelschlüsse von psychischen Erscheinungen auf psychophysische oder terminale Vorgänge im nervösen Sehapparate[1]). Der Reizeffekt einer Mischung gegenfarbiger Lichter erscheint — bezüglich der Farben — als bedingt durch physiologische Subtraktion oder Kompensation bei physikalischer Addition: nur die sog. Weissvalenzen der Lichter summieren sich. Der „Valenz"-begriff schliesst in sich die Abhängigkeit der Reaktion nicht bloss von der Natur des Reizes, sondern auch von der Veranlagung, der Spezifizität und Individualität, von dem jeweiligen Erregbarkeitszustande der gereizten Teile des Lebewesens und vom Verhalten ihrer Nachbarelemente (antagonistische Wechselwirkung, Simultankontrast). — Für die nichtpsychophysischen, präcentralen, speziell retinalen Prozesse, für die Funktion der Stäbchen und Zapfen bezw. für die Unität oder Dualität oder Multiplizität der sogen. Receptionsapparate, für die photochemische Reizvermittelung u. dgl. ist durch die Heringsche Theorie keinerlei Präjudiz gegeben[2]). Sie behauptet durchaus nicht Unität der sogen. Receptionsapparate, sondern Einfachheit und Selbständigkeit der Weissempfindung bezw. des zugehörigen psychophysischen Prozesses. Liesse sich eine Hypothese von der Funktion der Stäbchen und Zapfen, z. B. jene M. Schultzes, oder eine Hypothese von der Funktion des Sehpurpurs hinreichend begründen, die Heringsche Theorie der Gegenfarben wäre damit ohne weiteres vereinbar[3]).

Arch. Bd. 41, S. 29, 1887), ferner die Citate nach Hering und E. Fick oben auf S. 696. Vgl. auch C. Hess (47). — Über die Sonderung der farblosen und der farbigen Nachbildreaktion, siehe C. Hess (197 u. 199) und A. Walther (272, bes. S. 67).

1) Es ist irrig, wenn G. Martius (267, S. 67) bemerkt: Bei Herings Theorie des Sehens sind die physiologischen Vorgänge, die in direkte Beziehung zu den Bewusstseinserscheinungen gebracht werden, peripher Natur. — Hering selbst hat jenen Grundsatz immer wieder nachdrücklichst betont, auch dort, wo er der Kürze halber und zur Kennzeichnung der Mosaiknatur des Sehorgans von „Netzhaut" spricht. Untersuchungen und Thesen über die Erstreckung und Lokalisation des psychophysischen Apparates, der Sehsubstanz, sowie über die photochemischen retinalen Reizvermittler oder Sehstoffe hat Hering ganz und gar der Zukunft überlassen.

2) „Es erscheint mir nicht überflüssig, die Scheidung der Vorgänge im photochemischen Reizvermittler oder Absorptionsapparate und der Prozesse im nervösen Apparate (sensu strictiori) zu betonen, von deren mit Bewusstseinskorrelaten, Gesichtsempfindungen, ausgestatteten Gliedern Herings klassische Theorie der Gegenfarben handelt". (Tschermak, [85, S. 589]).

3) Das Heringsche Schema einer doppelsinnigen Veränderlichkeit und Beeinflussbarkeit des Stoffwechsels im psychophysischen Sehapparate nach dreierlei doppelsinnigen Grundrichtungen widerspricht m. E. nicht irgendwelchen „allgemein-biologischen Erfahrungen über das Wesen von Reizungsvorgängen" (W. Nagel [172]), sondern nur jener Formulierung der Lehre von der spezifischen Sinnesenergie, welche m. E. mit Unrecht den Stoffwechsel einer bestimmten lebendigen Substanz als durch Reize bloss in einer einzigen Richtung und in einem einzigen Sinne alterabel betrachtet, wenigstens soweit er sich in psychischen Korrelaten äussert, und sozusagen an die Stelle der eigenen Sprache, welche Joh. Müller jedem Sinnesorgane zuerkannte, blosse Einsilbigkeit setzt. (Vergl. E. Hering, Über die spezifischen Energien des Nervensystems. Lotos N. F. I. Bd., auch sep. und Zur Theorie der Nerventhätigkeit. Leipzig, Veit & Comp. 1899).

Hering, Pf. A. Bd. 41. 1887. S. 29-45.

S. 39 „Meine Theorie enthält lediglich in Bezug auf die Prozesse in der psychophys. Substanz des Sehorgans eine Hypothese... Über die ersten, unmittelbaren Wirkungen des Lichtes im peripheren Auge sagt meine Theorie nichts aus. .... Kries verlegt irrthümlich alles das, was meine Theorie von der psychophysischen Substanz aussagt in eine photochemische Substanz der Netzhaut (nach Art des Sehpurpurs)."

S. 40. „.... weil eben in meiner ganzen Theorie irgendwelche photochemische Substanz gar nicht erwähnt wird."

Kries, Pf. A. Bd. 41. 1887. S. 396.

„Nachtheil der Hering'schen Theorie, dass sie sich dem bekannten Thatsachen der Photochemie nicht anschliesst."

Kries, Arch. f. A. u. Phys. 1882. S. 121

„Hering führt alle (simult.) Contrasterscheinungen auf Modificationen der Prozesse im peripheren Nervenzurück, auf Veränderungen der Diss. und Assimilierungsprozesse."

Hering bemerkt dazu: „Ich habe aber von solchen Prozessen lediglich in Bezug auf die psychophys. Substanz gesprochen." (Pf. A. 41. S. 40). Vgl. Z. f. P. u. P. S. 3. 25, 27, 42.

Eine eingehende Diskussion über die Beziehungen, welche zwischen dem in den Stäbchenaussengliedern bei Lichtabschluss angesammelten Sehpurpur und den Erscheinungen der Hell-Dunkeladaptation möglicherweise bestehen könnten, hat Kühne (1878 [264, 265, 256, 266, 245, S. 355]) gegeben. Er vermied es, eine fertige Theorie über das Sehen des Dunkelauges als Funktion der Stäbchen bezw. des Sehpurpurs aufzustellen und sich für eine solche Möglichkeit zu engagieren. Ebensowenig statuierte er eine Verschiedenheit zwischen der von den Zapfen vermittelten Weisserregung und der von den Stäbchen möglicherweise ausschliesslich gelieferten Weisserregung — etwa im Sinne von Young-Helmholtz, der ersteren eine trichromatische, der letzteren hingegen eine einfache Natur zuschreibend.

Kühne findet seine „Erfahrungen über das Vorkommen und Verhalten des Sehpurpurs so sehr in Übereinstimmung mit M. Schultzes Hypothese", dass er vermutet, „wir würden mittelst des Purpurs und der Stäbchen (ohne die Zapfen) das Spektrum nicht nur wahrnehmen, sondern auch in grau schattiert auffassen, ähnlich wie die total Farbenblinden" (264, S. 93). — Kühne hat auch als erster das Problem behandelt und zwar im bejahendem Sinne, ob es neben dem Sehpurpur — falls dieser überhaupt als Sehstoff betrachtet wird — noch andere Sehstoffe zur photochemischen Auslösung von Weisserregung gebe (266, 245, spez. S. 355). Ähnliche Gedanken über Sehpurpur und analog fungierende Substanzen hat Haab (1879, 259) entwickelt, unter spezieller Bezugnahme auf M. Schultzes Hypothese und auf Herings Lehre vom Lichtsinne.

Ohne detailliert bis auf die Doppelgestaltung des retinalen Neuroepithels herabzugehen, unterschied Charpentier (255, 1877, 1880) allgemein gesonderte Vermittler von Empfindung farbloser Helligkeit mit undeutlicher Lokalisation, der „perception lumineuse brute" oder „vision diffuse": die „éléments photesthésiques", gegenüber den Vermittlern farbloser Empfindung mit deutlicher Lokalisation, der „vision nette": „éléments visuels proprement dits". Die Farbenempfindungen erklärte er als Effekte des Zusammenwirkens (Idee von Interferenz verschiedener Schwingungsformen) beider Apparate, von denen jeder allein nur farblose Empfindungen zu erzeugen vermag. Eine exakte Lokalisation dieser beiden Funktionen sei derzeit nicht möglich. Der eine Apparat dominiere im Netzhautcentrum, der andere sei daselbst inferior, excentrisch aber gleichmässig verbreitet. Die „vision diffuse" werde vermutlich durch den Sehpurpur und damit durch die Stäbchen vermittelt (1878—1886 [92]), erklärte sich Charpentier hingegen wegen angeblicher entoptischen Sichtbarkeit des Sehpurpurs [230] gegen eine unmittelbare, wesentliche Rolle desselben beim Sehen, nur beim Dämmerungssehen interveniere er möglicherweise). — Immerhin könnte man, sagte Charpentier (1886, 20) vorläufig als Hypothese oder Schema annehmen, dass die Stäbchen und die Zapfen jenen zwei Elementarten entsprechen: zumal da die „vision brute" in

der Fovea sehr schwach, extrafoveal gleichmässig verbreitet sei (was irrtümlich ist!), hingegen die „vision nette“ in der Fovea maximal sei.

Im Gegensatze zu Charpentiers Zurückhaltung schloss sich H. Parinaud (1881—1885, 268) entschieden der Stäbchen-Zapfentheorie M. Schultzes an, welche bei ihm aber ergänzt erscheint durch die von Kühne diskutierte Auffassung des Sehpurpurs als des Reizvermittlers der Stäbchen für das Dämmerungssehen, der „vision nocturne ou crepusculaire“ (1881, 68) — wirksam durch seine Fluorescenz (1894, 70), daher maximal für violette und ultraviolette Strahlungen (was irrtümlich ist!). Parinaud hat als erster die Intaktheit des centralen Sehens bei Hemeralopie (1881, 68), ferner (1884, 69) das angebliche Fehlen der adaptativen Empfindlichkeitssteigerung, welche allein den Lichtsinn betreffe, im Netzhautcentrum, ferner das angebliche Fehlen des sogen. farblosen Intervalls daselbst (68a), also durchwegs die angebliche qualitative Sonderstellung des Netzhautcentrums (nebenbei auch die angenommene Nachtblindheit der des Sehpurpurs entbehrenden Hühner und Tauben [68]) für die These verwertet, dass die in einem gewissen centralen Areale allein vorhandenen Zapfen der Dunkeladaptation ermangeln, und dass das ausschliesslich indirekte Dämmerungssehen eine alleinige Funktion der Stäbchen und des Sehpurpurs, die Hemeralopie eine Störung dieser Funktion sei. Gerade für das vom Sehpurpur nicht absorbierte rote Licht fehle (angeblich) die Empfindlichkeitszunahme und das intervalle photochromatique überhaupt. Parinaud bezeichnet seine Fassung der M. Schultzeschen Hypothese als „Théorie des deux rétines, celle des cônes et celle des bâtonnets et du pourpre“ (1885, 69). Auch Parinaud vermied eine Übernahme des Young-Helmholtzschen Dreifaserweiss für die Zapfen gegenüber dem einfachen Stäbchenweiss. Er erklärte sich ausdrücklich gegen die Annahme verschiedener Arten von peripheren Farbensinnselementen; die ausschliesslich durch die Zapfen vermittelte chromatische Funktion sei eine cerebrale (1884, 69, 1896, 71)[1]. — In Parenthese sei hier an die beweislose These P. Berrys (254) erinnert, dass das Pigmentepithel farblose Helligkeitsempfindung vermittle.

Zu wesentlich gleichen Anschauungen bekannte sich R. E. Liesegang[2], der überdies die totale Farbenblindheit als beruhend auf einem Ausfall der Zapfenthätigkeit erklärte.

Die ersten Autoren, welche eine ausdrückliche Theorie eines mehrfachen, verschiedenartigen Weiss vertraten, waren Woinow (1875, 274) und Preyer (1881, 174). Man kann diese Anschauung speziell als die Lehre vom dreifachen Weiss bezeichnen. Damit erscheint ihre mehr weniger graduelle Verschiedenheit von der späteren v. Kriesschen Theorie

---

1) Eine zusammenfassende Darstellung der Ansichten Parinauds hat dessen Schüler P. Weiss gegeben (273).

2) Photogr. Arch. Nr. 686. S. 117. 1891.

vom Doppelweiss, ihr wesentlicher Gegensatz zu der Heringschen Lehre vom einfachen Weiss deutlich charakterisiert. Woinow unterschied neben ausschliesslich lichtempfindlichen Elementen, die er mit den Stäbchen zu identifizieren geneigt war, vier Arten von farbenempfindlichen Elementen bezw. Zapfen und damit drei (bezw. vier) Arten von Weisserregung: das einfache oder Lichtfaserweiss, das binäre Rotgrünfaserweiss und Gelbblaufaserweiss: das Vierfaserweiss ist nur eine Kombination der beiden Arten von Zweifaserweiss. — Preyer betrachtete unter Berufung auf M. Schultze die Stäbchen als photogene, die Zapfen als chromatogene Elemente und unterschied wie Woinow vier Zapfenarten, ebenso die vorher genannten drei bezw. vier Arten von Weisserregung. — Die Theorie der Lichtempfindungen von Chr. Ladd-Franklin (1892, 166) ist eine Kombination der M. Schultzeschen Hypothese mit einer Dreifarbenlehre, derzufolge innerhalb einer einzelnen Zapfenzelle drei entsprechende Stoffwechselrichtungen, an den sogen. Farbenmolekeln, möglich sind; daneben werden in den Zapfen gleichwie in den Stäbchen besondere „Graumolekel" angenommen. — Auch die Hypothese von S. Tschiriew (1896, 271) fusst auf M. Schultzes Jdeen: der Stäbchensehstoff sei nur quantitativ bezw. mit achromatischem Effekt, der Zapfensehstoff auch qualitativ mit chromatischer Endwirkung veränderlich.

Die Stäbchen-Zapfentheorie von M. Schultze fand ferner seit 1894 eine Wiederaufnahme und Weiterführung seitens J. v. Kries (bes. 103, 57, 104) und A. König (101). Zunächst vertreten König und J. v. Kries nach dem Vorgange von Parinaud (und Charpentier) die bereits von Kühne diskutierte Auffassung des Sehpurpurs als des Reizvermittlers der Stäbchen für das (indirekte) Dämmerungssehen, und zwar betrachten sie ihn nach Kühne als photochemischen Reizvermittler, als Sehstoff des dunkeladaptierten Auges. König erklärte ferner das erste Zersetzungsprodukt des Sehpurpurs, das Sehgelb, als Sehstoff für die Blauerregung und damit die Stäbchen als Vermittler auch der Blauempfindung; das stäbchenfreie Netzhautcentrum sei blaublind, was irrig ist. — Für die Zapfen acceptieren weiterhin J. v. Kries und König den Young-Helmholtzschen Additionsgedanken, der erstere in der Form einer Dreifaser-, besser Dreikomponentenlehre[1]), der letztere wohl noch in der Form der ursprünglichen Dreifarbenlehre. Aus der Kombination der beiden Grundgedanken hat J. v. Kries in ausführlichen Darlegungen, König wohl nur implicite die Konsequenz auf eine doppelte Natur der Weisserregung gezogen und ein durch die Stäbchen vermitteltes Einfach-Weiss[2]) und ein trichromatisches

[1]) „Ich habe von jeher die Helmholtzschen Komponenten nur als den zutreffenden Ausdruck einer peripheren Gliederung unseres Sehapparates, nicht aber für die Vorgänge in der Hirnrinde gehalten". J. v. Kries (57, S. 133; 122, S. 45, 166; 103, S. 9).

[2]) Die durch Reizung von Stäbchen bewirkte Empfindung trifft nach v. Kries (57, S. 87, Anm.) „nicht notwendig mit dem zusammen, was wir gewöhnlich farblos nennen". „Es

oder Dreifaser- oder Dreikomponenten-Weiss der Zapfen angenommen. Gleich Parinaud betrachtet J. v. Kries die Dunkeladaptation, d. h. die Weisserregbarkeitssteigerung bei Lichtabschluss als ausschliesslich (oder wenigstens ganz vorwiegend) den Stäbchen zukommend, also im stäbchenfreien Centrum fehlend und als hauptsächlich[1]) bedingt durch Anhäufung von Sehpurpur, die Stäbchen demnach als die Vermittler des ausschliesslich indirekten, im Centrum fehlenden Dämmerungssehens[2]). J. v. Kries nimmt also eine Teilung der optischen Funktionen zwischen zwei Apparaten an, von denen der eine — der Dunkelapparat — die Stäbchen als Endorgane führe und total farbenblind, mit nicht sehr intensiver Lichtempfindung und geringerer Sehschärfe, noch bei relativ geringen Lichtstärken funktionsfähig, vorwiegend erregbar durch Strahlungen mittlerer und kurzer Wellenlänge (maximal für grüne, fast oder ganz unerregbar für rote) und hochgradig adaptationsfähig, relativ nyktalopisch sei. Der Hellapparat, bezw. Zapfenapparat, sei farbentüchtig, erst bei etwas grösserer Lichtstärke funktionsfähig, relativ hemeralopisch und besitze grössere Sehschärfe.

Als Stütze für diese Auffassung führte J. v. Kries bereits 1894 (103) an, dass die Wahrnehmung einer farblosen Helligkeit in verschiedenen Lichtarten durch Dunkeladaptation in sehr ungleichem Masse begünstigt werde (vgl. Kap. I und III), ferner dass ein farbloses Intervall für spektrale Lichter im Netzhautcentrum, wenn überhaupt, so nur im minimalsten Umfange bestehe (vergl. Kap. III), und dass das Purkinjesche Phänomen für die Fovea fehle. Das Purkinjesche Nachbild erklärte er 1894 (103) als Verschmelzung des länger dauernden, von den Stäbchen gelieferten Nachbildes mit dem negativ komplementär gefärbten der Zapfen. — Eine eingehende Begründung der Stäbchen-Zapfentheorie durch Angaben über die qualitative Sonderstellung, welche ein centraler Netzhautbezirk von bestimmter Grösse bei Dunkeladaptation erkennen lasse, brachten die späteren Abhandlungen des genannten Autors (104, 123, 142). Jene Daten lauten für das Netzhautcentrum auf Fehlen der Empfindlichkeitssteigerung, des farblosen Intervalls, des Purkinjeschen Phänomens, Fehlen der Alteration optischer Gleichungen (beim Farbentüchtigen wie beim sogen. Grünblinden) durch Intensitätsminderung und Dunkeladaptation (58) und Fehlen des Purkinjeschen Nachbildes (104, 202, 204, 205). Bestätigungen jener Theorie sah v. Kries ferner in den Resultaten der Messung des centralen Verschwindungsbezirkes für bestimmte

wäre also vielleicht richtiger nicht zu sagen, dass die Stäbchen farblose Empfindungen, sondern dass sie einen nur einsinnig veränderlichen Empfindungseffekt liefern".

1) v. Kries bemerkt (57, S. 118): „Ich bin keineswegs geneigt die Adaptation hierauf ganz ausschliesslich zurückzuführen" (speziell sei noch an Pigmentverlagerung zu denken).

2) v. Kries und Nagel (142, S. 183) bemerken diesbezüglich: „Neben dieser Auffassung wird aber zur Zeit jedenfalls die andere Möglichkeit im Auge zu behalten sein, dass für das Dämmerungssehen nicht sowohl die Stäbchen als der Sehpurpur die unerlässliche Bedingung seien".

Lichtstufen im Dunkelauge, ebenso des Bezirkes mit Fehlen des Purkinjeschen Phänomens, oder der Gleichungsalteration beim sogen. Grünblinden oder des Purkinjeschen Nachbildes; endlich in dem Fehlen des farblosen Intervalls und des Purkinjeschen Nachbildes für rotes Licht auf der ganzen Netzhaut, in dem Wegfall jenes Nachbildes nach langdauerndem Lichtabschluss, sowie in dem (fast völligen) Fehlen des Purkinjeschen Phänomens und Nachbildes beim Hemeralopen (das zunächst auch für den total Farbenblinden angegebene Fehlen des Nachbildes wurde später von Nagel (171) widerrufen) — gemäss seinen Beobachtungsresultaten. — Bezüglich der Deutung des Purkinjeschen Nachbildes (Phase III der sechsphasigen Nachbildreaktion nach Hess) entschied sich J. v. Kries 1896 (202) für die Annahme, dass die Stäbchen bei Lichtreizung eine in Vergleich zur Zapfenerregung verspätete Doppelerregung (vgl. die Betonung der Triplicität des Erregungseffektes bei C. Hess [153]) im Zeitintervalle von 1/5 Sekunde liefern, von welcher der zweite, stark verzögerte Effekt im helladaptierten oder doch nur schwach dunkeladaptierten Auge besonders deutlich bemerbar sei, der erste, weit weniger verzögerte mit zunehmender Dunkeladaptation immer stärker hervortrete. (Hamaker [195] betrachtet den primären Prozess, das sekundäre (Phase III) sowie das tertiäre Bild (Phase V) als kombinierten Effekt der Stäbchen und Zapfen, das quaternäre Bild als reinen Zapfeneffekt [S. 38—39]). — Aus der von ihm gefundenen Differenz der sogen. Peripheriewerte und der sogen. Dämmerungswerte farbiger Lichter (124, 125) folgert v. Kries, dass die (relative) totale Farbenblindheit der äussersten Netzhautperipherie nicht auf einem isolierten Funktionieren der Stäbchen beruhe, wie das Dämmerungssehen nach Parinaud, König und v. Kries, sondern auf der überwiegenden Funktion der Zapfen, welche in der äussersten Peripherie die Fähigkeit der Farbenerzeugung nicht besässen. — Die Sehschärfe, welche von v. Kries und Buttmann (213, 162) im dunkeladaptierten Auge bei geringer, für das Centrum unterschwelliger Beleuchtung untersucht und ausserhalb der Fovea bis zum blinden Fleck nahezu konstant angegeben wurde, deutet v. Kries als „Stäbchensehschärfe", während er die bei günstigster Beleuchtung erhaltene Leistung des Hellauges, welche jenseits des blinden Fleckes nicht besser sei als die Sehschärfe des Dunkelauges, wesentlich den Zapfen zuschreibt. In analoger Weise deuten F. Koester und A. E. Fick (220, 216), über deren von den obigen erheblich abweichende Resultate im Kap. VIII berichtet ist, die in den Hellversuchen gefundenen Werte als Ausdruck der „Zapfensehschärfe", die Ergebnisse der Dunkelversuche als „Stäbchensehschärfe".

Bezüglich der „funktionellen Sonderstellung des Netzhautcentrums" hatte sich v. Kries zunächst (1894, 103; 1896, 57, 104) ausgesprochen für ein „thatsächliches Fehlen der Dunkelfunktion in einem centralen Bezirk", der wenigstens für sein Auge erheblich grösser sei als

die Fovea. Doch gab er später (1899, 203, S. 189 und 190) zu, dass „die Thatsachen, auf welche er ursprünglich die Theorie stützte, ein absolutes Fehlen des Dunkelapparates im Centrum nicht streng bewiesen, sondern sich auch als eine, vollkommenem Fehlen sich nur annähernde Reduktion auffassen lassen". Auf der anderen Seite sei allerdings ein central lückenloses Vorkommen des Dunkelapparates nicht einwurffrei und zuverlässig erwiesen. „Die einzige Thatsache, die einigermassen für das Auftreten des Dunkelapparates im stäbchenfreien Bezirk zu sprechen scheint, ist die Zunahme der Empfindlichkeit, die schon bei ganz geringen Excentricitäten gegenüber dem Centrum selbst bemerkt wird." v. Kries schreibt „dem Dunkelapparat nur einen im Vergleich zu den Zapfen besonders hohen Grad von Adaptationsfähigkeit" zu. — In einer späteren Publikation von v. Kries und Nagel (1900, 142, S. 183) findet sich allerdings folgende Formulierung: „Die Thatsachen (centrales Fehlen der adaptativen Gleichungsalteration besonders beim sogen. Grünblinden) weisen auf irgend eine im Centrum vollkommen fehlende Beschaffenheit hin, mag nun diese in einem anatomischen Gebilde, einer chemisch definierten Substanz oder worin sonst immer zu suchen sein". Doch wird auch hier die Möglichkeit diskutiert, „dass ein ausserhalb der Stäbchen befindlicher Sehpurpur auch auf die Zapfen erregend einwirke," dass also eine Spur der Dunkelfunktion durch den Purpur auch ohne Stäbchen gegeben sein könnte. — Das letzte Resumé von v. Kries (1901, 204, S. 243) lautet bezüglich des Purkinjeschen Nachbildes (Phase III): „Es kann eine eigenartige Funktion nachgewiesen werden, hinsichtlich derer auch bei schwach- oder gar nicht dunkeladaptiertem Auge die Reizwerte der verschiedenen Lichter sich wie die Dämmerungswerte verhalten, und dass diese Funktion in einem centralen Bereiche fehlt."

Während sich A. König (159, S. 344) in der Erklärung der partiellen Farbenblindheit der von Ad. Fick und Leber begründeten These von der Koincidenz je zweier Elementarerregbarkeits (Empfindungs-)kurven anschloss behielt J. v. Kries (164) die ursprüngliche Reduktions- oder Ausfallshypothese nach Helmholtz bei, allerdings statt der Dreifarbenlehre eine nur den peripheren Teil des Sehorgans betreffende Dreifaser- oder Dreikomponentenlehre vertretend. Hingegen gaben sowohl J. v. Kries wie König die ältere Erklärung der total Farbenblindheit als Monochromasie völlig auf, so dass dieser Koincidenz- oder Reduktionsfall in seinen drei Spezialmöglichkeiten neuerdings überhaupt nicht mehr diskutiert erscheint. Beide Autoren erklärten 1893 nach dem Vorgange von R. E. Liesegang[1]) die typischen total Farbenblinden oder Achromaten für Stäbchen- oder Sehpurpurseher: letzteres zumal angesichts der Analogie ihrer spektralen Helligkeitskurve sowie jener des farblosen Spektrums für das

[1]) Photogr. Arch. Nr. 686. 1891. S. 117.

Dunkelauge mit der Absorptionskurve des Sehpurpurs. — Während König nach dem Vorgange von Chr. Ladd-Franklin (1892, 166) als Konsequenz die Blindheit des Netzhautcentrums bei den total Farbenblinden postulierte und behauptete, bezeichnete J. v. Kries ein centrales Skotom als die eine, eine Ersatzbildung von Stäbchen im Centrum als die andere Möglichkeit: vielleicht sei das Verhalten fallweise verschieden (203, S. 176). Gegenüber dieser Liesegang-König-Kries-Nagelschen Deutung der total Farbenblinden als Stäbchenseher haben Hess und Hering (48), abgesehen von dem Fehlen eines centralen Skotoms in ihren Fällen, die dem Verhalten des Farbentüchtigen ganz analoge Abnahme der Sehschärfe peripherwärts betont, noch mehr die volle Analogie in der Reizschwellenverteilung auf der dunkeladaptierten Netzhaut des Totalfarbenblinden und des Farbentüchtigen: centrale Unterempfindlichkeit, Anstieg peripherwärts. — Auffallend wäre ferner eine aus den Angaben von J. v. Kries (202) und von Nagel (171) resultierende Differenz bezüglich des Purkinjeschen Nachbildes (Phase III): einerseits Wegfall desselben im absolut dunkeladaptierten Auge des Farbentüchtigen (nach mindestens zwei Stunden Lichtabschluss — nach ihrer Angabe; C. Hess contra [199]) — andererseits Bestehen desselben im totalfarbenblinden Auge, welches wenigstens bezüglich der spektralen Helligkeitsverteilung dem ersteren vollkommen homolog ist.

Der Kries-Königschen Form der M. Schultzeschen Stäbchen-Zapfentheorie haben sich W. Nagel, A. E. Fick, O. Lummer, Uhthoff angeschlossen. Andererseits haben sie Hering, Hess, Tschermak einer Kritik unterzogen, in der sie speziell die prinzipielle Unabhängigkeit der M. Schultze-Parinaudschen Stäbchen-Zapfenhypothese und der J. v. Kries-Königschen Lehre vom Doppelweiss betonten. — Mein Urteil über die erörterten Theorien sei dahin gefasst, dass erstens die Annahme eines Doppelweiss, d. h. eines trichromatischen Zapfenweiss neben dem einfachen Stäbchenweiss alle jene Gründe gegen sich hat, welche für die durchwegs selbständige Natur des Weissprozesses und gegen eine Additionshypothese mit peripheren oder centralen Komponenten überhaupt sprechen. Dass übrigens in der Statuierung eines allerdings auf die Stäbchen beschränkten einfachen Weissprozesses eine teilweise Annäherung an die Heringsche Lehre liegt, ist unverkennbar. — Andererseits erachte ich die Auffassung der Stäbchen und Zapfen als gesonderter totalfarbenblinder Dunkelapparate und farbentüchtiger Hellapparate, sowie die Annahme des Sehpurpurs als des Sehstoffes für das Dämmerungssehen des Dunkelauges als durch den gegenwärtigen Thatsachenbestand nicht hinreichend gestützt. Erscheint doch Charpentier, Hering, Hess, Bloom-Garten und auch mir der Unterschied, welcher bezüglich der Phänomene der Hell-Dunkeladaptation zwischen dem stäbchen- und sehpurpurfreien Centrum und den peripheren Netzhautpartien besteht, wenn auch

erheblich, so doch nur graduell und vermittelt durch successive Abstufung, wie wir sie auch bezüglich des Farbensinnes und Ortssinnes kennen — eine Abstufung, die sich auch innerhalb der peripheren Partien selbst noch fortsetzt[1]). Auch liegen meines Dafürhaltens etwaige formale wie heuristische Vorteile einer solchen Hypothese, welche ihre bedenklichen Seiten und Konsequenzen zu überwiegen vermöchten, bis heute nicht vor. So sehr ich die Stäbchen-Zapfenidee M. Schultzes als eine diskutierbare Möglichkeit anerkenne, vermag ich darum nicht zuzugeben, dass „die sehr unbestimmte Formulierung, dass zwischen dem Netzhautcentrum und der Peripherie ein nur quantitativer Unterschied bestehe, die Gefahr einer durchaus unzutreffenden Vorstellung nahelegt“[2]). Vielmehr erachte ich die Beschränkung auf die wesentlich beschreibende, keineswegs „abstrakte“ Heringsche Valenzenformel als das bei dem heutigen Stande der Dinge zweckmässigste, weil sie formal ausreicht und sachlich nichts präjudiziert. Die weitere Diskussion und Forschung über die Grundlagen des Adaptationsvorganges, über die zugehörigen Veränderungen an den postulierten Sehstoffen, über die funktionale Bedeutung der Doppelgestaltuug des Neuroepithels in Stäbchen und Zapfen — wird durch eine solche vorsichtige Beschränkung gewiss nicht abgeschnitten oder aufgehalten.

Die Theorie von der spezifischen Helligkeit der Farben (Hering-Hillebrand) und die These einer regionalen wie adaptativen Verschiedenheit der Weissvalenzen (Tschermak). Die Theorie von der spezifischen Helligkeit der Farben wurde von Hering und Hillebrand (1887, 42, S. 19; 1889, 49; 1891, 44) aufgestellt zur Erklärung der ungleichmässigen Helligkeitsänderung, welche verschiedenfarbige Lichter sowohl beim Übergange in das indirekte Sehen als bei Dunkeladaptation (Purkinjesches Phänomen) erfahren, und damit zur Erklärung der verschiedenen Verteilung, welche die subjektive Helligkeit im Spektrum für das farbigsehende Hellauge und für das farblossehende dunkeladaptierte oder überhaupt total farbenblinde Auge aufweist. — Schon früher wurde daran erinnert, dass die farbigen Empfindungen — allgemein gesprochen — sich nach Herings Vorgang als „zusammengesetzt“[3]) (oder „zerlegbar“) betrachten lassen aus einem farbigen

[1]) A. E. Fick (257) und Tschermak (84, S. 320) haben daraus den Schluss gezogen, dass die Vertreter der M. Schultzeschen Hypothese entweder allen Zapfen oder wenigstens denen des stäbchenfreien Bezirkes (Centralzellen) einen gewissen Grad von Veränderlichkeit des Erregbarkeitszustandes im Sinne von Hell-Dunkeladaptation zuerkennen müssten.

[2]) v. Kries und Nagel (142, S. 186) fügen noch hinzu: „Man wird doch berücksichtigen müssen, von welchem Betrage solche quantitative Unterschiede sind. Blut und Wasser zeigen, wenn man will, in ihrer Fähigkeit Sauerstoff aufzunehmen, auch nur quantitative Unterschiede“. (Die Verschiedenheit der Aufnahmefähigkeit von Blut und Wasser für Sauerstoff beläuft sich bekanntlich nur auf das 10—15 fache). „Man wird aber wohl im allgemeinen die Berechtigung anerkennen müssen, aus quantitativen Unterschieden eines Erfolges auf einen qualitativen Unterschied in den Bedingungen zu schliessen“.

[3]) Diese Ausdrucksweise ist ebenso bildlich zu nehmen wie die „Zusammensetzung“ oder „Zerlegung“ von Kräften in der Mechanik. Sie bezeichnet nur eine Charakterisierung an sich

Anteil und einem farblosen Grau-Anteil von verschiedener, die Nüance bestimmender Art (Helligkeit) und verschiedener, die Sättigung bestimmender relativer Grösse, dass die sogen. farbigen Lichter im Hellauge einen doppelten Reizeffekt hervorbringen, ihnen somit neben farbiger Valenz auch Weissvalenz zukommt. Die letztere bestimmt — im Verein mit dem Dauerprozesse des „Eigengrau" und mit dem Kontrasteinflusse (Schwarzverstärkung) seitens der Umgebung — die Art und relative Grösse des farblosen Empfindungsanteiles, die Graukomponente. Die Helligkeit einer farbigen Empfindung kann nun nicht etwa bloss auf die Helligkeit ihrer Graukomponente bezogen werden, sondern muss auch von den farbigen Komponenten abhängen. Besitzen doch die farbigen Eindrücke auch bei möglichster Sättigung, d. h. bei möglichstem Zurückdrängen der Graukomponente noch „Helligkeit" — eine Qualität, welche nicht näher definierbar ist und nur dem absoluten Schwarz fehlt. — Hering und Hillebrand nahmen an, dass der Einfluss der vier farbigen Grundprozesse auf das psychophysische Korrelat der Helligkeit des Gesamteindruckes kein gleichartiger, sondern ein spezifisch verschiedener sei: die rote und gelbe Teilerregung wirke im allgemeinen erhellend, die grüne und blaue verdunkelnd. Der relative Helligkeitsverlust roter und gelber Lichter, der relative Gewinn grüner und blauer im indirekten Sehen, bei Dunkeladaptation sowie bei totaler Farbenblindheit sei also auf das Zurücktreten und den Wegfall des verschiedenen Helligkeitseinflusses der Farben zu beziehen: eine Verschiedenheit in den physiologischen Valenzen der Lichter, nicht die Verschiedenheit ihrer physikalischen Natur (Wellenlänge) an sich wird für jene Erscheinungen verantwortlich gemacht. — In der angenommenen Beteiligung, zudem der verschiedenartigen Beteiligung der Farben an der Helligkeit eines farbigen Eindruckes eine Annäherung an die Additionsidee von Young-Helmholtz, speziell an den Aufbau der Weissempfindung aus drei Komponenten, sehen zu wollen — wäre ein arges Missverständnis.

Die seinerzeit von Ebbinghaus (136, S. 173) aus der thatsächlich adaptativen Alteration farbloser Gleichungen gezogene Folgerung,

einheitlicher Prozesse durch ihre Ähnlichkeit oder Verschiedenheit zu gewissen Vorgängen, welche wegen ihrer völligen disparaten oder kontradiktorischen Verschiedenheit, ihrer „Einsinnigkeit" als fixe Vergleichspunkte gewählt und daher als Grund- oder Elementarprozesse bezeichnet werden. Herings Analyse der Gesichtsempfindungen, bezw. seine Theorie der Gegenfarben statuiert sechs solche Grundprozesse, von denen der Weiss- und der Schwarzprozess gleichzeitig, der Rot- und der Grünprozess (bezw. der Gelb- und der Blauprozess) nur alternierend in psychische Erscheinung treten. Die Gründe dieses Verhaltens sollen hier nicht weiter diskutiert werden. — G. Martius bemerkt (267, S. 88): „Der subjektive Befund ist eine Empfindung, Orange oder Grau, die keine weiteren Teilungen zulässt, die aber anderen Empfindungen mehr oder weniger ähnlich ist." Damit befindet er sich thatsächlich in voller Übereinstimmung mit Hering und Hillebrand, nicht aber haben diese die von G. Martius (S. 68) als unhaltbar bezeichnete Auffassung vertreten, „dass eine Grauempfindung die Schwarzempfindung in sich enthalte". Noch haben sie von weisser Valenz der zu untersuchenden Farbenempfindung gesprochen und weisse Valenz mit der farblosen Komponente der Farbenempfindung identifiziert (S. 138, 142).

dass die Helligkeit eines Mischweiss oder Mischgrau nicht allein bestimmt sei durch die Weisswerte seiner Komponenten, erscheint beseitigt durch die Statuierung einer Abhängigkeit der relativen Weissvalenzen vom Gesamtadaptationszustande des Sehorgans (Tschermak).

Im Gegensatze zu den Erscheinungen an farbigen Lichtern gestattet die ungleichmässige Helligkeitsänderung, welche nach Tschermak (84, Kap. IV; 85, Kap. IV) verschiedenartige farblose Mischlichter einerseits beim Übergange von extramakularer zu stärker indirekter Betrachtung, andererseits bei Änderung des Gesamtadaptationszustandes aufweisen, keine Zurückführung auf eine spezifische Helligkeit der Farben. Hier kommen nicht die einzelnen physiologischen Valenzen der Lichter in Betracht — die Lichter weisen ja gemischt nur freie, sich summierende Weissvalenzen auf —, sondern deren physikalische Verschiedenheit oder Wellenlänge. Zur „Erklärung" der genannten Erscheinungen an farblosen Mischlichtern und zugleich der ungleichmässigen Helligkeitsänderung verschiedenartiger bezw. verschiedenfarbiger Strahlungen im indirekten Sehen wie bei Dunkeladaptation (auch in der relativ total farbenblinden Netzhautzone) nimmt Tschermak an, dass im normalen farbentüchtigen Hellauge die Weissvalenzen verschiedenartiger Lichter regional vom Centrum nach der Peripherie der Netzhaut, sowie an derselben Nethautstelle bei Dunkeladaptation sich in ungleichem Masse ändern[1]). Nach dieser Formel lassen sich folgende allgemeine Sätze über die adaptative Abhängigkeit der Weissvalenzen aufstellen oder wenigstens als sehr wahrscheinlich vermuten. Die Weissvalenzen aller Lichter ändern sich, wachsen für das adaptationsfähige farbentüchtige wie farbenblinde Auge beim Übergang aus dem Helladaptationszustand zur Dunkeladaptation. Beim Farbentüchtigen ist diese Änderung eine ungleichmässige, indem die Weissvalenzen der langwelligen Lichter relativ weniger wachsen als jene der kurzwelligen Lichter: die Kurve der relativen Weissvalenzen zeigt also relative Senkung im langwelligen, relative Hebung im kurzwelligen Teile

[1]) Ich glaube schon 1898 (84, S. 328) die Konsequenzen dieser Annahme, der zufolge die relativen Weissvalenzen verschiedenartiger Lichter vom Gesamtzustande des Sehorgans im Sinne von Hell-Dunkeladaptation abhängig sind (im Zustande vorgeschrittener Helladaptation auch von der Netzhautregion), und ihre Discrepanz von der allgemein gehaltenen Aussage Herings, dass die optische Gleichheit von Lichtern unabhängig sei von der Stimmung des Sehorgans (138, § 27, 28, 39, 40), hinlänglich hervorgehoben zu haben. Ich bemerkte, dass die Aussage Herings (Gesetz von der Konstanz der optischen Valenzen gegenüber Veränderung des Zustandes des Sehorgans) auf jene Fälle von Erregbarkeitsänderung einzuschränken sei, welche derselbe zum Gegenstande seiner damaligen Versuche gemacht und einzeln angeführt hat (vgl. die Zusammenstellung [84, S. 328]): aus denselben ergiebt sich wohl die Unabhängigkeit optischer Gleichungen von der Lokaladaptation, nicht aber von der Gesamtadaptation des Sehorgans für Hell und Dunkel. Ich vermag daher die Worte von v. Kries (203, S. 185) in keiner Beziehung als berechtigt anzuerkennen: „Wenn Tschermaks Darstellung die Wichtigkeit dieser Konstatierung und ihren Gegensatz zu Herings bisheriger Stellung wenig bemerklich macht, so soll ihm dies nicht verargt werden".

und Verschiebung des Maximums nach dem letzteren hin, anscheinend[1]) von circa 580 (aus dem Gelben) bis etwa 500 mμ. Bei relativer Gelbsichtigkeit ist diese adaptative Änderung der Weissvalenzkurve ausgiebiger wie bei relativer Blausichtigkeit. Analoges gilt von den beiden Typen der Rotgrünblinden; doch kann die Formänderung der Kurve und die Verschiebungsgrösse des Maximums bis zum allgemein gültigen Typus für absolute Dunkeladaptation (mit circa 500 mμ als Maximum) bei sog. Grünblinden sehr erheblich, bei sog. Rotblinden sehr gering sein. Beim typischen Totalfarbenblinden findet wohl eine Änderung der absoluten Weissvalenzen statt, nicht aber eine solche der relativen: es besteht dauernd der Dunkeladaptationstypus der Weissvalenzkurve mit circa 500 mμ als Maximum. Während die Weissvalenzkurve für Helladaptation bei den verschiedenen Farbentüchtigen wie Farbenblinden recht different sein kann, ist jene für vollendete Dunkeladaptation allgemein gültig.

Als Grundlagen der adaptativen wie der regionalen Änderung diskutierte der genannte Autor einerseits die Möglichkeit einer variablen Absorption der Strahlungen vor der lichtempfindlichen Schicht: etwa durch das phototrope Retinalpigment, welches in den Augen der Fische, Amphibien, Reptilien und Vögel bei Belichtung ein intraepitheliales Wabengitter, bei Lichtabschluss einen retroepithelialen Schirm formiert. Als plausibler bezeichnete Tschermak jedoch die Vorstellung einer Änderung in dem photochemischen Reizvermittler, im Absorptionsapparate des Sehorganes. Im einfachsten Falle würde es sich um eine Änderung des Mengenverhältnisses der Sehstoffe handeln, von denen bereits Kühne und Haab eine Mehrzahl für die Auslösung der einfachen, selbständigen Weisserregung angenommen haben. Einer dieser Weiss-Sehstoffe könnte der Sehpurpur sein (dessen Identifizierung mit der psychophysischen Schwarzweiss-Substanz Herings ein höchst fatales Missverständnis wäre!), und seine Anhäufung bei Lichtabschluss könnte mit dem dabei sich herstellenden Erregbarkeitsübergewichte der excentrischen Netzhautpartien in Zusammenhang stehen. — Tschermak hat auch darauf hingewiesen, dass schon eine blosse Konzentrationsänderung einer elektiv absorbierenden Substanz eine Absorptionsgrössen-Gleichung aufhebt: die weniger stark absorbierten Strahlungen erscheinen bei Konzentrationszunahme oder Verdickung der Schicht begünstigt gegenüber den stärker absorbierten. Da demgemäss blosse Zunahme des Sehpurpurs geradezu in entgegengesetztem Sinne, als es dem Purkinjeschen Phänomen und der adaptativen Störung von Gleichungen

[1]) Hierauf weist hin die Helligkeitsverteilung, in welcher das Spektrum dem helladaptierten Auge, stark indirekt betrachtet, farblos erscheint (die sog. Peripheriewerte nach J. v. Kries). Allerdings kann aus dieser kein unmittelbarer und einwandfreier Schluss auf die hierbei geltenden Weissvalenzen gezogen werden (vgl. Tschermak 84, S. 323).

entspricht, wirken müsste, hat Tschermak ein weiteres Ausspinnen jener Betrachtungsweise unterlassen[1]). v. Kries (142, 126) hat dieselbe fortgesetzt und die von Stegmann (133) angegebene Umkehr der Gleichungsalteration im weiteren Verlaufe des Lichtabschlusses als Wirkung der Konzentrationszunahme an Sehpurpur gedeutet. — Die oben auseinandergesetzte Stäbchen-Zapfen-Sehpurpurhypothese nach Parinaud und v. Kries, liesse sich — wie v. Kries bemerkt — auch ganz allgemein formulieren als Annahme zweier Apparate von verschiedener spektraler Reizbarkeitskurve und differenter Reizschwelle, bezw. zweier Absorbenten (zweier Sehstoffe oder Sehstoffgemenge) von verschiedenem Absorptionsspektrum und verschiedener Zersetzungsschwelle. — Eingehende theoretische Erörterungen über die Rolle des Sehpurpurs hat Ebbinghaus in seiner Theorie

[1]) Schon angesichts des 1898 und 1900 von mir unternommenen Versuches, die bisherigen fremden und eigenen Beobachtungsdaten zusammenzufassen und dafür eine m. E. hinlänglich detaillierte „Erklärung“ zu geben (84, S. 322—327; 85, S. 587—590), kann ich es als zutreffend nicht bezeichnen, wenn J. v. Kries (205, S. 97 und 98) die Bemerkung macht: „Bis jetzt haben weder Hering noch einer seiner Schüler oder Arbeitsgenossen gegenüber den wichtigsten Thatsachen, die die Untersuchungen des letzten Jahrzehntes herausgestellt haben, überhaupt Stellung genommen. . . . . . Hier liegen also Probleme vor, zu deren Lösung die Heringsche Schule vorläufig noch nicht den kleinsten Schritt gethan hat. Mit der Zeit wird sie ja ohne Zweifel sich entschliessen, diese Thatsachen in den Kreis ihrer Erwägungen zu ziehen.“

Pro memoria:

J. v. Kries
1902
(205, S. 97)

„Die Ungleichheit der Dämmerungswerte für helläquivalente Lichter ist von Tschermak für das trichromatische Sehorgan bestätigt worden . . . und . . . einfach als eine nicht weiter erklärbare Eigentümlichkeit der schwarz-weissen Sehsubstanz hingenommen worden. Diese schon hier wenig befriedigende Auffassung würde für die enormen Differenzen gleicher Art, die wir beim Dichromaten und für die normale Peripherie finden, mit den von Hering bisher vertretenen Anschauungen in direktestem Widerspruch geraten und ganz unangängig sein; denn wer wird annehmen wollen, dass eine Sehsubstanz sich derart ändern kann, dass sie jetzt von zwei Lichtern gleich stark in verändertem Zustande aber von dem einen 100fach stärker als von dem anderen affiziert wird.“

A. Tschermak
1898 und 1900
(84, S. 325; 85, S. 588—590).

„Es läge die Annahme eines zweiten retinalen Weissempfindung vermittelnden Sehstoffes neben dem Sehpurpur nahe: die jeweiligen relativen Weissreizwerte hingen von dem jeweiligen Mengenverhältnisse dieser beiden Sehstoffe ab.“ „Den Sehpurpur als Schwarzweisssubstanz im Sinne Herings zu erklären, wäre ein arges Missverständnis.“ — „Plausibler (als die Pigmenthypothese) ist m. E. die Vorstellung einer Änderung in dem photochemischen Reizvermittler, im Absorptionsapparate des Auges.“ „Es erscheint mir nicht überflüssig die Scheidung der Vorgänge im photochemischen Reizvermittler oder Absorptionsapparate und der Prozesse im nervösen Apparate (sensu strictiori) zu betonen, von deren mit Bewusstseinskorrelaten, Gesichtsempfindungen, ausgestatteten Gliedern Herings klassische Theorie der Gegenfarben handelt. Damit eröffnet sich auch die Perspektive auf eine besondere Gruppe von Anomalien des Licht- und Farbensinnes, welche weder im lichtleitenden noch im nervösen Apparate begründet wären.“

Hering, Zur Erkl. d. FBl. a. d. Th. der Gegenfarben

„Zweitens wäre es denkbar, dass gewisse Mittelglieder, durch welche die Aetherschwingungen erst zu einem Reiz für die nervöse Substanz werden, abnorm fungiren oder theilweise fehlen."

[Also bereits Andeutung der Möglichkeit von FBl auf Grund einer Anomalie od. eines Mangels in den peripheren Theilen, speciell in den photochem. Sehstoffen.]

des Farbensehens gegeben (136), auf welche hier jedoch nicht näher eingegangen werden kann. Ebenso muss ich mich hier mit dem blossen Hinweis auf die interessanten Ausführungen über die Analyse der Gesichtsempfindungen und über die Bedeutung der spezifischen Helligkeit bei F. Hillebrand (49) und bei G. E. Müller[1]) (auch über die Rolle des Sehpurpurs und die Funktion der Stäbchen) begnügen.

Tschermak erachtet mit solchen möglichen oder wahrscheinlichen Veränderungen im Reizvermittler oder Absorptionsapparate des Auges (deren detaillierte Diskussion ihm verfrüht erscheint) die Vorgänge der Hell-Dunkeladaptation nicht als erschöpft, bezeichnet vielmehr eine Veränderung des nervösen Apparates selbst als ebenso wesentlich (85, Kap. IV).

Neben jener Vorstellung einer regionalen wie adaptativen Verschiedenheit der Weissvalenzen, welche die bezeichneten Phaenomene unter einer gemeinsamen, nichts präjudizierenden Valenzenformel zusammenfasst, bleibt aber die Annahme einer spezifischen Helligkeit der Farben sehr wohl diskutabel. Dass die Theorie der Gegenfarben von einer bezüglichen Entscheidung, ja von den beiden Spezialthesen überhaupt völlig unabhängig ist, braucht wohl nicht erst betont zu werden. — Allerdings erscheint mir die Annahme einer spezifischen Helligkeit der Farben durch den gegenwärtigen Thatsachenbestand noch nicht hinlänglich begründet, wenngleich einige Beobachtungen für dieselbe angeführt werden können und die eventuelle Beteiligung eines solchen Faktors an den bezeichneten Erscheinungen, soweit sie farbige Lichter betreffen (Purkinjesches Phänomen), keineswegs ausgeschlossen erscheint[2]). So sei erinnert an das Hellerwerden gewisser gelbgrüner Lichter während des Gelberscheinens in jener Netzhautzone, welche unter den gewählten Bedingungen rotgrünblind ist (Tschermak 85, S. 588.) Von besonderem Interesse ist aber folgende Beobachtung Herings (1874 — mitgeteilt in der Sitzung vom 9. I. 1875 des Vereines Lotos, vergl. 260, S. 31; 41, S. 57): er stellte eine Mischung her aus rotem und grünem Glaslichte von gleicher subjektiver Helligkeit und fand die halbe Menge des Mischlichtes dunkler als jede der beiden Komponenten für sich allein. Analoge Versuche machte er über die scheinbare Helligkeit des aus zwei gegenfarbigen Spektrallichtern gemischten Weiss. — In ähnlicher Weise fanden Ewald und Kühne (256, S. 153 u. 208) „im Gegensatze zu der verbreiteten Ansicht, dass das durch Kombination aus zwei Komplementären gebildete Weiss dunkler erscheine als die Komponenten, nicht allein das auf die verschiedenste Weise aus zwei Spektralfarben direkt gemischte Weiss, sondern auch das unter der rotierenden

---

[1]) Zur Physophysik der Gesichtsempfindungen. Zeitschr. f. Psych. u. Phys. d. S. O. Bd. 14. S. 1 u. 161. 1897.

[2]) Die Einwände, welche Gruber (258) und P. Martius (267) gegen eine solche Vorstellung überhaupt erhoben haben, erscheinen mir nicht zutreffend. Eine Erörterung über die von P. Martius und Kretzmann (262) studierten Helligkeitswerte der Nachbilder würde hier zu weit führen.

Zahnscheibe entstandene, objektiv nicht intensivere Weiss" für ihre Augen und die anderer „entschieden immer heller als die beiden Komponenten". — Nicht ohne weiteres verwertbar — wegen der Abhängigkeit verschiedenfarbiger Helligkeitsgleichungen von der Intensität — ist die Beobachtung von Donders (147), dass in der Tongleichung: Lithiumlicht + Thalliumlicht = Natriumlicht die dem Gemische angenähert gleichende Intensitätsstufe von Natriumlicht nicht gleich ist der Summe der beiden Mengen von Natriumlicht, welche mit dem Lithiumlicht und dem Thaliumlicht allein gleichhell erscheinen. — An diese Beobachtungen[1]) wird wohl das weitere Studium des Problems der spezifischen Helligkeit der Farben anknüpfen.

Rolle der Makula. Die Abhängigkeit optischer Gleichungen von der Netzhautstelle, wie sie bei Feldgrössenänderung sowie beim Übergang von direkter zu indirekter Betrachtung zu Tage tritt, hat Hering (139) auf die elektive Absorptionswirkung des Makulapigmentes bezogen. In analoger Weise leitet Breuer (135) aus Korrektionsmessungen (vgl. Kap. IV) einen Schluss her auf den Einfluss des Makulapigments auf Farbengleichungen. Eine solche Erklärungsweise war für die von Tschermak (85, S. 570) beobachtete (nicht erhebliche) Abhängigkeit farbloser optischer Gleichungen von der Netzhautstelle auch im extramakularen Bezirke nicht möglich (vgl. oben). Tschermak berührte auch die Möglichkeit, dass die gleichen Ursachen schon mitspielen bei dem obigen Vergleich von Netzhautcentrum und Nachbarschaft neben der unleugbaren Wirkung des lokal vorgelagerten Makulapigments (vgl. die Absorptionsmessungen von M. Sachs (144) an isolierten Netzhäuten).

Die Verschiedenheit der beiden Typen unter den Farbentüchtigen wie die thatsächlich ganz analoge Typenteilung unter den Rotgrünblinden, also die Differenz der sogen. Rot- und der sogen Grünblinden, bezog Hering einerseits auf eine typisch verschiedene Pigmentierung der Macula lutea sowie der Linse (41, S. 19, 43), andererseits auf eine typische Verschiedenheit im Blaugelbsinne (41, S. 46 ff.). Für die relativ gelbsichtigen Farbentüchtigen (extreme Fälle solcher Art sind die „anomalen Trichromaten" nach v. Kries) und Rotgrünblinden, die sogen. Grünblinden, nahm er stärkere Pigmentierung und besseren Blaugelbsinn, für die relativ blausichtigen Farbentüchtigen und Rotgrünblinden, die sogen. Rotblinden, schwächere Pigmentierung von Makula und Linse und schlechteren Blaugelbsinn. — So vorzüglich eine solche Voraussetzung in formaler Beziehung ge-

---

[1]) Kretzmann (262) kam für das dunkeladaptierte Auge zu dem Satze: „die Helligkeit eines komplementären Gemisches von Pigmentlichtern ist gleich der Helligkeit seiner farbigen Komponenten, in dem Verhältnis gerechnet, wie diese an dem Gemische beteiligt sind." Als „Helligkeit" ist hier der nach der G. Martiusschen Nachbildmethode (267, S. 101 —107) ermittelte Wert bezeichnet. Es handelt sich bei dieser darum, in einer Kombination von drei verschiedenen Kreiselscheibengrössen die centrale Weissschwarzscheibe und den äusseren Weissschwarzring auf eine solche Helligkeit zu bringen, dass bei längerer Fixation weder ein Heller- noch ein Dunklererscheinen gegenüber dem mittleren, farbigen Ringe eintritt.

eignet ist, das verschiedene Verhalten der beiden Typen (ihre quantitative Verschiedenheit bezüglich der kurz-, bezw. langwelligen Strahlungen, die verschiedene Lage der Cardinalpunkte im Spektrum durch relative Blaugrünermüdung der sogen. Blausichtigen, bezw. Gelbrotadaptation der sogen. Gelbsichtigen, speziell verglichen mit dem Effekte künstlich vorgeschalteter Makulapräparate, Hering[1]) zu illustrieren, so versagt sie m. E. gegenüber der thatsächlichen Beschränkung der Verschiedenheit auf den Helladaptationszustand (König [55, 159], v. Kries [165, 164]) sowie gegenüber der von v. Kries (165) gemachten Beobachtung, dass die extrem Gelbsichtigen zur Herstellung von Tongleichungen zwischen einem Rotgrüngemisch und einem der Lichter 628—552 mμ nicht ein konstantes Multiplum des Grün-Rotverhältnisses der „Normalen" (relativ Blausichtigen) fordern. Hingegen konnte das Bestehen der typisch verschiedenen Helligkeit des langwelligen Spektralendes, die Verschiedenheit im Rotblau-, bezw. Grünblau-Verhältnisse bei Mischung, die Verschiedenheit gegenüber der Tongleichung Rot + Grün = Gelb auch im indirekten Sehen nach Hering zunächst sehr wohl auf eine typisch verschiedene Linsenpigmentierung bezw. auf eine typische Verschiedenheit im Gelbblausinne bezogen werden. Die thatsächliche Analogie der beiden Typen unter den Farbentüchtigen mit den beiden Typen unter den Rotgrünblinden, ebenso die gesamte Theorie der Gegenfarben bleibt natürlich von dieser Frage völlig unberührt.

Hering hat am besten den Wert jener Erklärungsweise mit den Worten charakterisiert, „sie habe ihm über manchen Stein des Anstosses leicht hinweggeholfen, der anderen bei ihren optischen Untersuchungen noch heute im Wege liegt und dieselben zu allerlei seltsamen Vermutungen geführt hat" (41, S. 19). — Eine einwandfreie Begründung der Typendifferenz ist m. E. heute noch nicht zu geben. Immerhin erscheint die von v. Kries gezogene Schlussfolgerung berechtigt, dass der Unterschied nicht in einer verschiedenen Pigmentierung des lichtleitenden Apparates (was aber Hering nicht ausschliesslich angenommen hatte, vergl. oben), sondern in der Beschaffenheit der optischen Substanzen selbst begründet sei (165). — Einen Fingerzeig nach der Richtung hin, in welcher eine neue Erklärung zu suchen sein wird, könnte das anscheinend verschiedene Verhalten der Dunkeladaptation (Verschiedenheit der Verteilung der relativen Weissvalenzen im Spektrum für einen Zustand vorgeschrittener Helladaptation[2]) bei den beiden Typen der Farbentüchtigen wie der Rotgrünblinden abgeben.

[1]) Schon Seebeck (179, S. 223) bemerkte: „Die Individuen der 2. Klasse (Rotgrünblinde mit verkürztem Spektrum oder sog. Rotblinde) werden einigermassen in den Zustand der ersten Klasse versetzt, wenn sie ein helles orangefarbiges Glas vor das Auge nehmen."

[2]) Eine bezügliche Bemerkung hat Hering schon 1880 (150, S. 25) gemacht: „Beim Rotgrünblinden scheint letzteres (Gleichheit der weissen Valenzen der dem roten Spek-

Als Schluss unseres theoretischen Resumés seien die schönen Worte Herings (150, S. 15) hergesetzt: „Hat es je eine Theorie gegeben, welche mehr gewesen wäre als eine blosse Annäherung an die Wahrheit? Sterile Theorien verfallen leicht der Unsterblichkeit; die fruchtbaren vererben ihren unsterblichen Teil ihren Kindern, während ihre sterbliche Hülle zerfällt".

---

tralende entsprechenden Strahlen mit den weissen Valenzen für das normale Auge) nicht der Fall zu sein, sobald die neutrale Stelle des Spektrums erheblich nach F hin liegt": also bei den sogen. Rotblinden oder Rotgrünblinden mit verkürztem Spektrum. „Liegt die neutrale Stelle näher nach E hin . . . so könnte das Spektrum sogar verlängert sein, besonders wenn auch die weissen Valenzen dieses Spektralteils hier für den Farbenblinden (sogen. Grünblinden) grösser wären als für den Farbentüchtigen".

Hering: „Ich bin weit entfernt zu glauben, dass die von mir aufgestellte Theorie endgültig richtig ist, aber ich bin der Meinung, dass sie der Wahrheit näher kommt als die bisher übliche." Die fortschreitende Erkenntnis des Wesens der Nerventhätigkeit werde auch seine Theorie modificiren.

1876, 1887. Pfl. Bd. 41. S. 46.